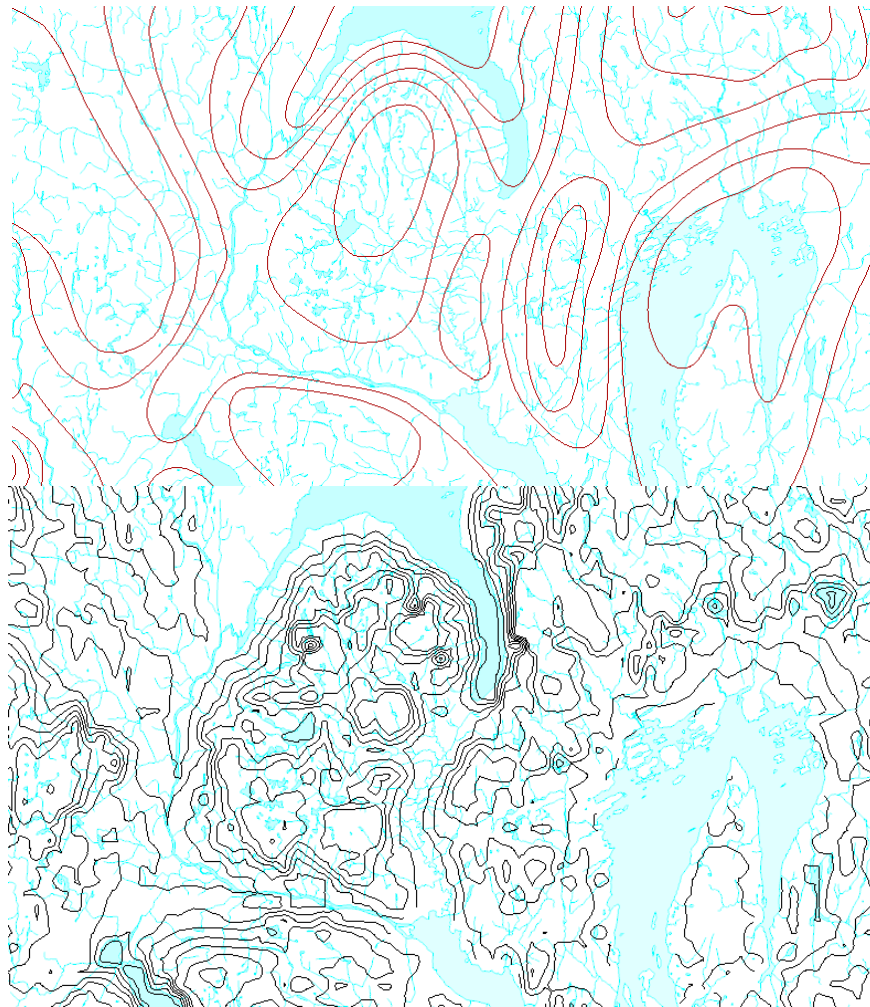


Masteroppgave, Institutt for geofag

Bruk av isohydatkart for estimering av avrenning i umålte felt

Et eksempel for Østlandet

Simona Brazauskaite



UNIVERSITETET I OSLO

DET MATEMATISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

Bruk av isohydatkart for estimering av avrenning i umålte felt

Et eksempel for Østlandet

Simona Brazauskaite



Masteroppgave i geofag

Studieretning: Naturgeografi, hydrologi og geomatikk

Institutt for geofag

Matematisk-naturvitenskaplig fakultet

UNIVERSITETET I OSLO

Mars 2014

© **Simona Brazauskaite, 2014**

Dette eksamensarbeidet er publisert elektronisk i DUO – Digitale Utgivelser ved UiO

<http://www.duo.uio.no>

Det er også katalogisert i BIBSYS (<http://www.bibsys.no/>)

All rights reserved. No part of this publication may be reproduced or transmitted, in any form or by any means, without permission.

Sammendrag

Hydrologiske data som avrenning kan representeres i hydrologiske kart hvilket er et effektivt kommunikasjonsverktøy. Avrenningskart er mye brukt i Norge til formål som kraft- og vannforsyning, jordbruksvanning, oppdrett av fisk, vei- og brobygging, flomsikring, vannressursplanlegging, klimaundersøkelser og mye mer.

Nedbørfelt til Glitre er et uten målestasjoner, derfor er vannstands- og vannføringsdata ikke er tilgjengelige. Siden isohydatkart for avrenning bare gir et grunnlag for estimering i umålte felt, er målet i denne oppgaven å sammenligne to forskjellige metoder for å lage avrenningskart og deretter estimere og sammenligne avrenningsverdier for de utvalgte representative nedbørsfeltene Elgtjern, Gryta, Sæternbekken og Fiskum

For å estimere den spesifikke avrenningen i Glitre nedbørsfelt var det avgjørende å sjekke homogenitet i de utvalgte representative nedbørsfeltene og å konstruere varighetskurver. Dataserier til nedbørsfeltene var konsistente og varighetskurvene var svært like. Det tyder at nedbørsfeltene er homogene og vannføringsvarighet ligner hverandre, altså at de utvalgte representative nedbørsfeltene er representative for Glitre nedbørsfelt, dermed kan de representative nedbørsfeltene brukes for å estimere avrenning i det umålte feltet Glitre. Verdiene for spesifikke avrenningen ble beregnet i alle nedbørsfeltene ved hjelp av isolinjer og det digitale verktøyet NVE Atlas for de to forskjellige periodene og beregnede verdiene sammenlignet.

Siden de årlige datasettene til Elgtjern og Sæternbekken inneholdt manglende verdier, ble enkel lineær regresjon brukt for å fylle hull i datasettet. Det var avgjørende for å beregne trenden for de årlige middelavrenningsverdiene. Trendene ble sjekket ved å bruke enkel lineær regresjon og t-test. Resultatene viste trend i seriene for Gryta og Sæternbekken, men ingen trend i seriene for Elgtjern og Fiskum. Resultatene i denne oppgaven overensstemmer med resultater og prognoser laget av NVE.

Etter sammenligning resultater for to metoder ble det funnet at små nedbørsfelt gav større verdier til spesifikke avrenningen enn store nedbørsfelt. Årsak kan være en finere oppløsning for små nedbørsfelt. I 1970 ble feltet til Glitrevann vurdert til et normalt spesifikt avløp på 19 l/s km^2 . Avanserte metoder gir et estimat på $\sim 17.5 \text{ l/s km}^2$. 19 l/s km^2 er noe høyere enn 17.5 l/s km^2 , men var en godt nok estimat i 1970.

Forord

Denne oppgaven er resultatet av mitt arbeid med den avsluttende masteroppgaven ved Institutt for geofag Universitet i Oslo våren 2014.

Jeg ønsker å takke mine veiledere Lena Tallaksen, Nils Roar Sælthun og Kjell Nordseth for deres innspill, ideer, tilbakemeldinger, støtte og veiledning i løpet av denne studien. Lena og Nils Roar har bidratt med hjelp til definering av oppgaven og verdifulle tilbakemeldinger under arbeidet med oppgaven.

I forbindelse med arbeidet med oppgaven har flere personer vært behjelpelige med tilgang til datamateriale, gode faglige diskusjoner, og andre tekniske og språklige assistanse. Takk til Norges vassdrags- og energidirektorat for tilgang til HYDRA II-databasen og nødvendig litteratur og seniorforsker Stein Beldring ved hydrologisk avdeling for meget nyttige kommentarer. Takk til Elin Hønsi fra Glitrevannverket AS for faglige innspill, tålmodige forklaringer og at jeg alltid var velkommen til Glitrevannverket. Takk til Christian Svebakk-Johansen fra Glitrevannverket AS for GIS bistand. Takk til PhD student Irene Brox Nilsen, ved institutt for geofag ved UiO, som har svart villig, kritisk og konstruktivt på spørsmålene. Takk til mine medstudenter Synnøve Mathan Knivsland og Nina Værøy for språk korrektur.

Takk også til meg selv for en ekstra innsats og stor effektivitet. Det var særlig utfordrende å skrive oppgaven på under 3 måneder når morsmål er litauisk, oppgaven skrives på norsk og all litteratur er på engelsk.

Vil takke mine venner Ieva, Magda, Synnøve, Jevgenija, Gita og Deivis som har trodd på meg og støttet meg gjennom alle studieårene.

Vil takke mine foreldre og min søster for barnepass og oppmuntrende ord.

Særlig vil jeg rette en stor takk til min mann Lauras for stor tålmodighet og økonomisk støtte under studietiden og til min datter Auste for gledelige stunder.

Innhold

Sammendrag.....	iii
Forord	v
Figurer	ix
Tabeller.....	ix
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling.....	3
1.3 Begrep.....	5
2 Teori.....	7
2.1 Vannbalanse.....	7
2.2 Hydrologiske data.....	9
2.2.1 Spesifikk avrenning.....	11
2.3 Normalverdier.....	12
2.4 Isohydatkart	12
2.4.1 Manuell metode.....	13
2.4.2 Automatisk metode	15
2.5 Estimering i Umålte Felt (PUB)	17
2.6 Hydrologiske Modeller.....	18
2.6.1 Usikkerhet ved hydrologiske modeller	21
2.6.2 HBV-modell	21
2.6.3 GWB-modell	23
2.6.4 Sammenligning av HBV-modell og GWB-modell	23
3 Metode	25
3.1 ”Double-mass” kurve	25
3.2 Varighetskurve.....	26
3.3 Isohydatmetode.....	28
3.3.1 Manuell metode.....	30
3.3.2 Automatisk metode	30
3.4 Enkel lineær regresjon	31

3.4.1	Infylling av manglende data	31
3.4.2	Trend beregning og t-test	32
4	Data og materiale	34
4.1	Studieområde	34
4.2	Tilgjengelige data	38
4.2.1	Elgtjern målestasjon	40
4.3	Materiale og verktøy	40
5	Resultater	43
5.1	”Double-mass” kurve	43
5.2	Varighetskurve.....	44
5.3	Isohydatmetode.....	46
5.3.1	Manuell metode.....	46
5.3.2	Automatisk metode	47
5.4	Innfylling av manglende verdier.....	48
5.5	Trendberegning.....	49
6	Diskusjon	52
7	Konklusjoner.....	55
	Referanser.....	56
	Vedlegg 1	62
	Vedlegg 2	66
	Vedlegg 3	84
	Vedlegg 4	86
	Vedlegg 5	87

Figurer

Figur 2-1 Skisse av det hydrologiske kretsløp (Dunne og Leopold, 1978).....	7
Figur 2-2 Digitalisert isohydatkart for Norge for 1930-1960 (NVE Atlas)	14
Figur 2-3 Modellgenerert isohydatkart for Norge for 1961-1990 (NVE Atlas).....	15
Figur 2-4 Et nedbørfelt som et hydrologisk system (Chow et al, 1988)	19
Figur 2-5 Klassifisering av hydrologiske modeller (Etter Xu, 2001)	19
Figur 2-6 Skisse til strukturen av HBV-modell (Seibert, 2005)	21
Figur 3-1 Double-mass kurve (Rees et al., 2004)	25
Figur 3-2 Varighetskurver og virkninger av forskjellige perioder (Raghunath, 2006)	27
Figur 3-3 Et eksempel på beregning av avrenning i et nedbørfelt (Kristensen, 1996).....	28
Figur 4-1 Neddbørfeltene og deres beliggenhet	35
Figur 5-1 "Double mass" kurve	43
Figur 5-2 Kumulative residualer for avrenning mot tid	44
Figur 5-3 Varighetskurver for sammenligningsstasjoner	45
Figur 5-4 Varighetskurve for Elgtjern målestasjon.....	46
Figur 5-5 Årlig middelvannføring for 6.10 Gryta målestasjon	49
Figur 5-6 Årlig middelvannføring for 8.6 Sæternbekken målestasjon.....	49
Figur 5-7 Årlig middelvannføring for 11.4 Elgtjern målestasjon	50
Figur 5-8 Årlig middelvannføring for 12.193 Fiskum målestasjon	50
Figur 0-1 Oslo paleorift.....	87

Tabeller

Tabell 2-1 Data til hver rutine (Seibert, 2005)	22
Tabell 0-1 Basisopplysninger om Glitrevann og Finnemarka	36
Tabell 0-2 Nedbørfeltene og deres feltparametre og klimadata	37
Tabell 0-3 Aktuelle sammenligningsstasjoner og feltkarakteristika (NVE)	38
Tabell 0-4 Stasjoner og deres serielengder.	38
Tabell 0-5 Grunnleggende statistikk for årlige datasett	39
Tabell 0-6 Avrenningsdata for 1930-60 kartblad, blad nr.2 (NVE, 1987).....	41
Tabell 5-1 Spesifikke avrenningsverdier ($l/s\ km^2$) beregnet manuelt	47
Tabell 5-2 Spesifikke avrenningsverdier ($l/s\ km^2$) beregnet ved bruk av NVE Atlas.....	47
Tabell 5-3 Manglende verdier funnet for Elgtjern og Sæternbekken.....	48
Tabell 5-4 Resultater for t-test, signifikansnivå 5%	51

Tabell 0-1 Årlig middelavrenning (l/s) til Elgtjern og gjennomsnitt (l/s) av sammenligningsstasjoner til Gryta, Sæternbekken og Fiskum	86
--	----

1 Innledning

Hydrologiske data er uerstattelige når det gjelder å øke forståelsen av variabler som karakteriserer hydrologiske prosesser og lagring av vann i nedbørsfelt og vannføringsdata representerer den mest nøyaktige informasjon om det terrestriske vannets kretsløp (Fekete et al., 1999).

Hydrologiske kart kan være et effektivt kommunikasjonsverktøy for vitenskapelige, pedagogiske og samfunnspolitiske formål og dermed spille en viktig rolle i utredninger og diskusjoner om mange miljømessige og sosiale problemer (McKay, 1976). Avrenningskartet som viser spesifikk avrenning (vannhøyde per enhet tid) kan være nyttig i vurdering av vannressurser ved at man kan bruke dem til å estimere vannføring/avrenning fra umålte bekker/elver. Kart over årsmiddelverdier for avrenning i Norge er utarbeidet for periodene 1930-1960 og 1961-1990. I Norge brukes avrenningskartet i planleggingen av vannkraft- og vannforsyning, jordbruksvanning, oppdrett av fisk, vei- og brobygging, flomsikringstiltak, vannressursplanlegging, klimaundersøkelser, undervisningsformål og mye mer (Beldring et al., 2002).

Tilgjengeligheten av hydrologiske måledata er begrenset i forhold til både tid og rom. Dermed er et viktig mål i hydrologi en metode å estimere avrenning i umålte felt. Med umålte felt menes nedbørsfelt hvor topografiske og klimatiske egenskaper er tilgjengelige, men ikke målte vannføringsdata. Det er flere årsaker til hvorfor estimering i umålte felt er viktig/har stor betydning. For det første er det en mulighet til å forutsi høye og lave vannføringer avledet av tidsserier for nedbør med tanke på flom og tørkeperioder, for anvendelser innen vannressurser og vannkraft, for å vurdere økologisk helse av vassdraget og konsekvensene på sosioøkonomisk nivå. For det andre er det viktig å estimere påvirkning/konsekvenser av klima- eller arealbruksendring på et vannføringsregime. Vanligvis brukes hydrologiske modeller for disse formålene (Singh, 1995).

1.1 Bakgrunn

Kommunene Øvre Eiker, Nedre Eiker, Drammen, Lier, Røyken og Hurum i Buskerud fylke og Sande og Svelvik kommuner i Vestfold fylke danner et interkommunalt samarbeidsområde kalt Drammensregionen. I følge Statistisk Sentralbyrå (2013) har kommunene tilsammen 177 489 innbyggere. Drammensregionen, med omtrent 135 000 innbyggere, får hovedsakelig vannforsyning av Glitrevann som ligger i Finnemarka i Buskerud fylke. Glitrevannverket ble satt i drift i 1978.

Glitrevann er den største innsjøen i Drammensregionen og har en overflate på ca. 3,8 km², største dybde er ca. 90 m. med et totalvolum på ca. 112 millioner m³ vann, mens nyttbart magasinivolum (11 meters reguleringshøyde) er 37 mill. m³ (Glitrevannverket, 2013). I dag utnyttes lite av den tilgjengelige reguleringshøyden. Vannstanden ligger ca på kote 358 moh, og viser variasjoner over året på ca 1.5 m. Men økende behov i fremtid vil betinge større nedtappinger i tørre sommere.

Andre drikkevannskilder som Røysjø og Sylling er reservekilder (Glitrevannverket, 2013). Glitrevannverket og Asker kommune har også bygget en reservevannsforbindelse, slik at Glitrevann kan forsyne Asker kommunes ca. 50 000 innbyggere med vann ved driftsavbrudd (Glitrevannverket, 2013).

Drammen kommune regner med at Drammen vil merke befolkningsvekst i betydelig grad, fordi Drammen er en integrert del av Osloregionen som er en av regionene i Europa med sterkest befolkningsvekst (Drammen Kommune, 2013). Ifølge vassdragsteknisk ansvarlig Elin Hønsi i Glitrevannverket AS, er det kjente planer om fremtidig utbygging av nye boligfelt i Ringerike kommune (pers. med. 26.11.2013). Dette vil betydelig øke antall beboere i regionen noe som igjen fører til økt behov for drikke- og brannvannsforsyning.

Vannkvaliteten i Glitrevann er meget godt og egnet til drikkevann både med hensyn til fysiske eller/og kjemiske, biologiske og hygieniske parametre. Glitrevann nedbørfelt har storuforurenssettilrenning. Hvis forbruket holdes omtrent som i dag, behøver man ikke noe tiltak for å øke drikkevannssikkerhet og lete etter nye drikkevannskilder.

I 1969 utstedt Det Kongelige Departement for Industri og Håndverk en Ekspropriasjonstillatelse (se vedlegg 1) som gir ”rett til å regulere vannet med 11 m senking mellom kote ca. 360,5 og kote ca. 349,5.” Et annet viktig punkt i Ekspropriasjonstillatelsen er det som tillater ”å overføre vannføringen fra et felt på ca. 9.6 km² og et felt på ca. 7,4 km² fra Rotuas nedbørsfelt til Glitrevann”.

Vannforbruket i Glitrevann er normalt størst om sommerhalvåret. Innsjøer som utnyttes til drikkevann kan få lav vannstand som er farlig grunnet større fare for forurensning. Vanninntaket ligger på ca. 30 m dybde i Glitrevann, men hvis vannforbruket øker, slik at nedtappinger nå 10-11 m, kan slik betydelig senkning av vannnivå i innsjøen gi alvorlige konsekvenser.

Det er som oftest stabil og god vannkvalitet i store og dype innsjøer. Nasjonal Folkehelseinstitutt Vannforsyningens ABC (2004) gir en beskrivelse om vannkvalitet i innsjøer som illustrer noe av grunnen til dette. Stort volum av vann gir en høy fortynningseffekt ved utslipp av uønskede stoffer, derfor er naturlig godt beskyttet (Nasjonal Folkehelseinstitutt, 2004). En temperatursjiktning dannes med et varmere overflatelag liggende over et kaldere dypvannslag som virker som en barriere mot forurensning av dypvannet i dype innsjøer. Derfor om sommerhalvåret er inntak som er plassert dypt i innsjøen godt beskyttet mot forurensning.

I Glitrevannsreguleringen – Forslag til manøvreringsreglement for Glitrevannsdammen (se vedlegg 2) fra 1970 vurderte sivilingeniør Erik Ræstad feltet til Glitrevann til et normalt spesifikt avløp på $19 \text{ l}/(\text{s}\cdot\text{km}^2)$ for feltet. Det ble gjort ved bruk av isohydatkart som baserte seg på subjektive metoder. Siden 1960-tallet ble det gjort vesentlige fremskritt i å lage isohydatkart for avrenning. Metodene ble mer avanserte slik at nedbør-avrenningsmodeller kan brukes til å estimere avrenningsverdier som inkluderer forskjellige hydrologiske prosesser. Stor betydning for nøyaktige verdier har moderne målingsteknikker (snøpute, vindskjerming av regnmålere, lasermålinger av snø og andre) for hydrometeorologiske parametre.

1.2 Problemstilling

I denne oppgaven er to avrenningskart for Norge for to forskjellige perioder sammenlignet. Det første avrenningskartet for Norge er for periode 1930-1960 og baserer seg kun på subjektiv vurdering av innholdet i de enkelte rutene til rutenettet. Avrenningskartet for perioden 1961-1990 ble laget ved bruk av avanserte metoder, hydrologiske modeller, på 1990-tallet.

Oppgaven er bygd opp slik at det første målet er å se på sammenheng mellom representative utvalgte nedbørfeltene. I denne studien inngår å plote "double-mass" kurver og varighetskurver for målestasjoner, det vil si å utføre regional analyse og benytte homogenitetstest for å sjekke om det har skjedd vesentlige endringer av de ulike målestasjonene og deres plassering i feltet. Det kan være ny plassering av vannføringsstasjon, endret tverrsnitt av elv ved vannstandsmåling og dermed endret formel for utregning av vannføring grunnet flom, ras, nye demninger satt opp eller fjernet.

Det skal også vurderes om verdiene for nedbørfeltet for den første perioden ligner verdiene til den andre perioden og om volum på tilsig til Glitrevann er tilstrekkelig og tilfredsstillende for vannbruksbehov.

Formålet med denne oppgaven er dermed angitt som følger:

Vurdere nøyaktigheten i estimering av avrenning fra små felt ved hjelp av isohydatkart.

Delmål til oppgaven blir da å:

- Sammenligne manuell isohydat metode og automatisk NVE Atlas metode,
- Sammenligne avrenning fra manuelle og automatiske metoder for de fire stasjonene Elgtjern, Gryta, Sæternbekken og Fiskum for periodene 1930-1960 og 1961-1990,
- Tolke eventuelle endringer funnet i dataene fra de to periodene,
- Vurdere estimatet fra 1970 for normalt spesifikt avløp for Glitrevann (19 l/s); hvor bra er estimatet for bruk i dag og den gang det ble laget i 1970.

1.3 Begrep

Noen sentrale begreper i oppgaven er viktig å definere. Fleste definisjoner er tatt fra General Introduction and Hydrologic Definitions (Langbein and Iseri, 1995) og NVE nettsider.

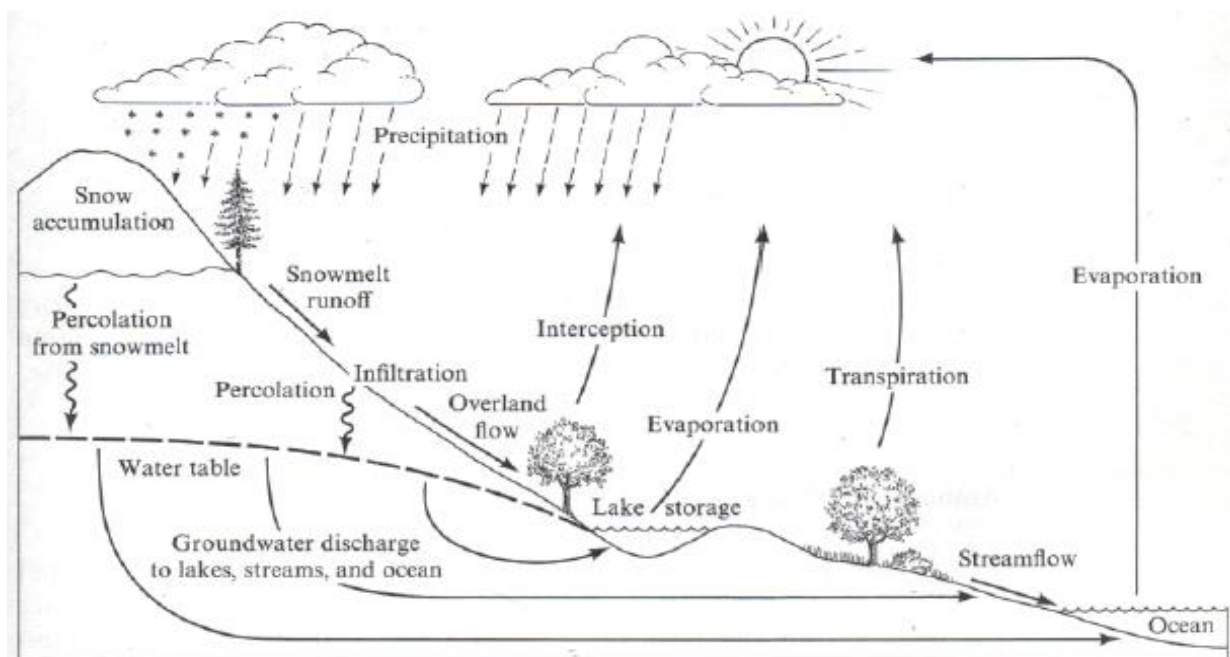
- **Dataserie:** En tidsserie med beregnete eller avledete data. Vannføringsserier er for eksempel vanligvis dataserier og ikke måleserier.
- **Fysiografiske data:** data om høydefordeling, størrelse til nedbørfelt, arealbruk, geologi og jordsmonn.
- **Hydra II:** NVEs system for å lagre, kontrollere, bearbeide, analysere og presentere hydrologiske og meteorologiske data.
- **Hydrologisk system:** Sett av fysiske, kjemiske og/eller biologiske prosesser som oppfører seg som en tilførselsvariabel (input) eller variabler, som blir en utgangsvariabel (output) eller variabler (Dooge, 1973).
- **Isohydater:** Linjer i et kart som viser årets gjennomsnittlige avrenning i liter pr sekund pr kvadratkilometer. Isohydatverdien i et bestemt område i landet er avhengig av både nedbørsmengde, klima og grunnforhold (Liebscher, 1972).
- **Isohyeter:** linjer i et kart som viser lik nedbør i område (Liebscher, 1972).
- **Middelavrenning:** gjennomsnittelig avrenning gjennom året for nedbørfeltet. Enhet er m³/s, l/s.
- **Modell:** Forenklet versjon av virkeligheten. En modell alltid beskriver grunnleggende og viktigste komponenter innen et komplisert/kombinert system.
- **Måleserie:** En tidsserie med direkte observerte data (ikke beregnete eller avledete data).
- **Nedbørfelt** (altså nedslagsfelt eller tilsigsområde): Landareal med avrenning til et bestemt utløpspunkt i en elv, innsjø, fjord eller i hav. En grense til et nedbørfelt kalles et vannskille.
- **Nedbørsfeltets modell:** Matematisk beskrivelse og numerisk simulering av prosesser som foregår i et nedbørsfelt (Singh og Frevert, 2002a).
- **Feltparameter:** Fysisk eller klimatisk verdi som beskriver en egenskap ved nedbørfeltet.
- **Spesifikk vannføring:** Gjennomsnittelig avrenning pr kvadratkilometer. Den brukes for å sammenligne avrenning i to eller flere nedbørfelt. Enhet er l/s km².

- **Standard normalperiode:** 30-års perioder som brukes for å beregne normalverdier (normaler) av meteorologiske data. Verdens meteorologiorganisasjon (WMO) i 1935 vedtok at såkalte normalverdier skulle beregnes for spesielle 30-årsperioder.
- **Stasjonsnummer:** Stasjoner gis et todelt nummer, hvor første ledd er vassdragsområdets nummer og annet ledd er et løpenummer innenfor vassdragsområdet.
- **Vannmerke:** Fastmontert vertikal stav med skala for avlesning av vannstand.
- **Variable:** Systemets karakteristikk som kan måles, som forutsetter forskjellige verdier når de måles på ulike tidspunkter.

2 Teori

2.1 Vannbalanse

Flere delsystemer der vannet opptrer i forskjellige former og sirkulerer gjennom jordas mange sfærer danner det hydrologiske kretsløp (figur 2.1-1). Dunne og Leopold (1978) gir en beskrivelse av de store fysiske prosessene som fordampning, kondensasjon, nedbør, intersepsjon, infiltrasjon, perkolering, transpirasjon, avrenning og lagring som danner en sammenhengende strøm av vann i bevegelse. Den mest grunnleggende karakteristikken av det hydrologiske kretsløpet er at det er uten begynnelse og ende. Det hydrologiske kretsløpet er avhengig av ulike værforhold og romlig kompleksitet og er et dynamisk og tilfeldig system i naturen.



Figur 2-1 Skisse av det hydrologiske kretsløp (Dunne og Leopold, 1978)

Vannbalanseligningen forklarer og kvantifiserer det hydrologiske kretsløp i et bestemt område eller nedbørfelt ved å måle forskjellige komponenter av kretsløpet. Det er viktig å definere komponenter i det hydrologiske kretsløp. Nedbør kan opptre som regn, snø hagl, dugg, tåke og rim. Avrenning eller avløp er vann som renner over og under bakken fra nedbørsfelt og ut i vassdrag og derfra ut i havet. Det er flere typer avrenning. Infiltrering er vannet som trenger gjennom jord- eller berggrunnsoverflaten til markvannssonen. Overflateavrenning oppstår når nedbøren overskrider overflatens infiltrasjonskapasitet. Perkolering skjer når overskuddsvannet i markvannssonen trenger videre ned til grunnvannssonen. Grunnvannsstrømning er vann som beveger seg under grunnvannspeil. Evapotranspirasjon eller fordampning er samlebegrepet for evaporasjon og transpirasjon. Evaporasjon er fordampning fra jord- og vannoverflate, mens transpirasjon er fordampning fra planter.

Endring i magasinert vannmengde (ΔS) kan være positiv eller negativ. Ferskvannsmagasiner er breer, grunnvannsmagasiner, overflatevannsmagasiner, markvannsmagasiner, snø og is, og intersepsjon. Forenklet form av vannbalanse for en gitt tidsperiode (den alminnelige vannbalanselikning):

$$\text{Volum inn} = \text{Volum ut} + \text{endring i magasin}$$

$$P - Q = \Delta S$$

Formel 2-1

eller ved å dele formel 1-1 på tid får man volumfluks (m^3/s):

$$\frac{P}{\Delta t} - \frac{Q}{\Delta t} = \frac{\Delta S}{\Delta t}$$

Formel 2-2

hvor Δt = tidsperiode

P = nedbør under perioden (mm)

Q = avrenning under perioden (mm)

ΔS = Endring i magasinert vannmengde under tidsperioden (mm)

Avrenning er vannet som renner ut i elver og bekker, og forsvinner ut fra nedbørfelt (Otnes, 1971). Vannet kan komme fra nedbøren som regn eller snø, eller fra andre magasiner som grunnvann, markvann og bre (Dingman, 2002). Vann som faller som nedbør i et nedbørfelt forlater nedbørfeltet eller lagres (Otnes, 1971; Dingman, 2002). Vannbalansen for et gitt område eller nedbørsfelt, uttrykkes som:

$$P = Q + E \pm \Delta S \quad \text{Formel 2-3}$$

hvor P = nedbør (mm)

Q = avrenning (mm)

E = fordampning: evaporasjon og transpirasjon (mm)

ΔS = endring i magasinert vannmengde (mm)

Tollan (2002) stiller opp for norske forhold en mer fullstendig vannbalanse:

$$P_{regn} + P_{snø} = E_{evap} + E_{transp} + Q_{over} + Q_{grunn} + \Delta S_{snø, is} + \Delta S_{sjø} + \Delta S_{mark} + \Delta S_{grunn} \quad \text{Formel 2-4}$$

I forvaltning og bruk av vannressurser spiller avrenning en betydelig rolle som en tilførselsvariable (input variable). Avrenning er avgjørende i å prosjektere tekniske konstruksjoner som kulverter, reservoarer, vannkraft og vannverk, estimering av grunnvannsstrømning og flomprognoser.

Formel 1-3 benyttes ved rask estimering av vannbalansen i et område, ofte kun ved estimering av evapotranspirasjon ved bruk av gjennomsnittlig verdi for fordamping fra området, eller ved å beregne evapotranspirasjon fra lignende nedbørsfelt nær ved hvor man har både lignende nedbør, lagring (grunnforhold og sjøer) og kjente vannføringer. Brukes som oftest over hele år og ikke om måneder. Formel 1-4 benyttes hvis man skal ha en mer dyptgående vannbalanse for et nedbørsfelt og som etter hvert kan splittes inn i måneder, hvis man har apparater/utstyr ute til å gjøre målinger i for de forskjellige sesongene.

2.2 Hydrologiske data

Vannføring er den viktigste variabelen i mange hydrologiske problemstillinger. NVE bruker mange ulike metoder for å måle vannføring:

- Flygel eller vannstrømsmåler er en spesiell propell som måler hastigheten til rennende vann. Vannføringen beregnes ut ved å måle hastigheten i et antall punkter i et kjent tverrprofil av elva.
- Saltmetode brukes i turbulente elver hvor saltet blandes godt ut at man kan måle saltkonsentrasjonen pr tidsenhet og deretter å regne ut vannføringen.
- Hydroakustisk metode (ADCP) brukes når hastigheten måles ved hjelp av lydbølger. Pga dopplereffekten vil refleksjonen fra disse lydbølgende ha en annen frekvens en de som ble sendt ut med og hastigheten fås av differansen.

Vannføringsdata får man vanligvis ved registrering av *vannstanden* fordi det ikke er praktisk mulig å måle vannføringen fortløpende. Vannføringen beregnes ut fra en relasjon mellom vannstand og vannføring når registrerte vannstander konverteres til vannføringer via en funksjon eller kurve som kalles *vannføringskurven*. Ligningen for vannføringskurver er gitt ved:

$$Q = c(h - a)^b$$

Formel 2-5

hvor Q = vannføring (m^3/s)

h = vannstandshøyde (m)

a = vannstand (m) som tilsvarer $Q = 0$

Vannstanden kan enkelt leses av manuelt på en fastmontert målestav ved målestasjonen. I tillegg benyttes vanligvis trykkcelle, ultralydsensor og/eller flottørmåling til å registrere vannstand kontinuerlig eller ved gitte tidspunkter. Vannstands- og vannføringsdata lagres i NVEs sin HYDRA II-basen. Anbefalt tidsoppløsning for vannstand/vannføring er 1 time og enda hyppigere i små felt (Pettersen, 2003; Skaugen, 2010).

Det anbefales å foreta så mange vannføringsmålinger som mulig for å redusere *usikkerheten* til vannføringskurven til et felt. *Nøyaktigheten* til en vannføringskurve er avhengig av hydrauliske egenskaper til det aktuelle elveavsnittet. Erosjon i elveprofil under flom og/eller avlagring av nye masser på elvebunnen er årsaker til kurveforandring. Isoppstuvning om vinteren kan redusere nøyaktighet av vannføringskurven ved å gi altfor høye vannstandsmålinger i forhold til virkelig vannføring, derfor bør flere vannføringsmålinger foretas i løpet av vinteren. Det er også viktig å foreta flere vannføringsmålinger under flomvannføringer og sjekk av tverrprofilet både jevnlig og særlig etter en flom.

2.2.1 Spesifikk avrenning

Spesifikk avrenning er den klassiske parameteren for vannføringsregime. Den angir vannmengden som renner over jordoverflaten i løpet av et år. Generelt angis den spesifikke avrenningen i enheten mm/år eller $\frac{l}{s \cdot km^2}$. Enhet mm/år er et vannvolum som renner over en gridcelle/rutenettcelle delt på området av gridcellen/rutenettcellen (Fekete et al., 2000).

Den spesifikke avrenningen er en refleksjon av dynamikken i et nedbørsfelt og som er spesielt tydelig i årlig variabilitet. Årlig avrenning er knyttet til det hydrologiske problemet med hvor mye vann som er tilgjengelig (McMahon et al., 2011) noe som er grunnleggende for vannforvaltning, langsiktig planlegging av vannressurser, grunnvannsstrømning og andre formål (Viglione et al., 2013). Derfor er det avgjørende å estimere/beregne den spesifikke avrenningen i umålte felt. Spesifikk avrenning (mm/år) kan beregnes:

$$\overline{Q_s} = 365 \cdot \overline{Q_d} = \frac{365}{T} \sum_{t=1}^T Q_d(t) \quad \text{Formel 2-6}$$

hvor $\overline{Q_d}$ er daglig middelaavrenning (mm/dag) og T (dager) er lengde av datasett. Den spesifikke avrenningen er teoretisk vanndybde i millimeter over et nedbørsfelt og som tilsvarer årlig middelvannføring målt ved en målestasjon og den brukes som en del av en beskrivelse av et nedbørsfelt.

2.3 Normalverdier

I 1935 vedtok Verdens meteorologiorganisasjon (WMO) at såkalte normalverdier skulle beregnes for spesielle 30-årsperioder. Tidligere utgaver av "Guide to Climatological Practices" definerer klimanormaler:

" Climatological standard normals: Averages of climatological data computed for the following consecutive periods of 30 years: 1 January 1901 to 31 December 1930, 1 January 1931 to 31 December 1960, etc." (WMO - No. 49)

Klimatologiske normaler tjener to hovedformål: som en referanse å sammenligne observasjoner og som en prediksjon. Standard klimanormaler omfatter referanseperioden for evalueringen av uregelmessigheter i klimavariabilitet.

2.4 Isohydatkart

Kartlegging (mapping) er en kortfattet måte å avbilde og oppsummere en romlig fordeling av hydrologiske variabler som nedbør, evapotranspirasjon og avrenning (Bishop og Church, 1998). Disse hydrologiske variabler er elementer av det hydrologiske kretsløpet. Tradisjonelt avrenningskart angir avrenningsdybde ved hjelp av isolinjer. Opprinnelig ble slike kart tegnet ved manuell interpolering av målte avrenningsdata.

Utvikling av hydrologiske kart er relativt ny, det vil si mindre enn 150 år (McKay og Thomas, 1971; Robinson, 1971). De to mest vanligste karttyper er punktkart og isolinjekart. Det tidligste kjente kartet basert på den hydrologiske variabelen nedbør ble laget/produsert av den danske kartografen Olsen i 1839 (Bishop og Church, 1998). I 1841 produserte Berghaus et nedbørskart ved bruk av isolinjer til sin *Physikalischer Atlas* (Bishop og Church, 1998). Produksjonsstart av avrenningskart i USA rundt 1890 er nesten rett etter at målinger startet (Bishop og Church, 1998). Langbein et al. (1949) beskriver en kort historie om tidlig amerikansk kartlegging av avrenning.

Med hensyn til produksjonsmåte kan de fleste nyere avrenningskart deles inn i to kategorier: manuelle og automatiserte. Manuelle kart er av to typer. Den første typen av manuelt kart er kart som stoler på målingsdata og subjektive vurdering/betraktninger av lokale nedbørsmønstre og andre geografiske vurderinger/betraktninger (Krug et al, 1990; Domokos og Sass, 1990). Den andre typen er kart som benytter både empiriske beregninger/estimer og avrenningsverdier under utarbeidelsen (Thornthwaite et al, 1958; Liebscher, 1972).

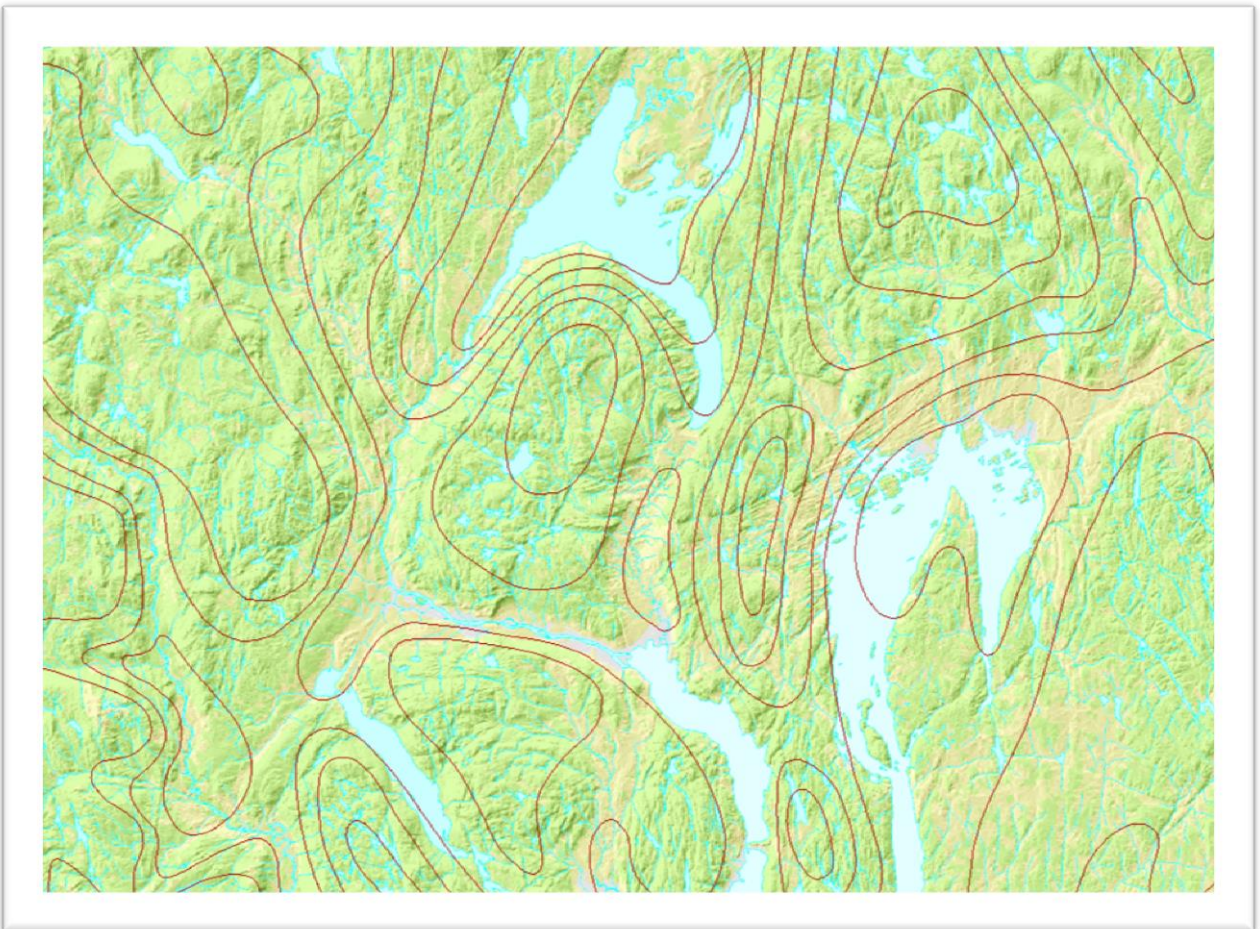
Avrenningskart lages ved bruk av automatiserte metoder som benytter data-algoritmer for å interpolere estimert avrenning (eller estimert og avlest vannføring). Et rasterbasert automatisert system ble utviklet av Solomon et al. (1968). I systemet brukte de ulike fysiske og klimatiske faktorer for å skape en regresjonsformulering som senere ble anvendt på gridoverflate å produsere avrenningskart. En tilsvarende metodikk ble benyttet av Foyster (1975), men metoden baserte seg på formuleringen av vannets kretsløp utviklet av Penman (Bishop og Church, 1998).

Bishop and Church (1992, 1995) har undersøkt metoder som benytter både avlest vannføring og estimert avrenning ved nedbørsstasjoner. Til å lage avrenningskart brukte de avrenningsberegninger sammen med avleste data ved enkel interpolering og ved å benytte ulike metoder som regresjonsligning, beregning av evapotranspirasjon eller avrenning- og nedbørsforhold. Bishop and Church (1992, 1995) fant at kart laget ved bruk av noen av sine egne metoder gir like nøyaktige (eller enda mer) avrenningsberegninger enn beregninger utledet i manuelt produserte kart.

Det er tre hovedspørsmål som må vurderes når man velger metoder for å lage avrenningskart (Gottschalk og Krasovskaia, 1998): interpoleringsmetoden, målestokk av grunnleggende enheter på kartet, og tilgjengelige observasjoner som kan brukes å løse variasjon på ulike romlige skalaer (Sauquet et al., 2000). Interpoleringsmetoden kan være enten manuell konturtegning som kalles subjektive metoder i meteorologisk terminologi, eller automatisk interpolering som kalles objektive metoder (Sauquet et al., 2000).

2.4.1 Manuell metode

Stein Beldring ved Hydrologisk modellering seksjon i NVE har gitt ut en beskrivelse om laging av Avrenningskart i Norge for 1930-1960. S. Beldring pers. medd. (4.12.2013) og rapport Avrenningskart for Norge Årsmiddelsverdier for avrenning 1961-1990 (Beldring et al, 2002) benyttes som referansekilder. Hydrologisk avdeling utarbeidet et kart (figur 2-2) over spesifikk avrenningen basert på manuelle metoder (NVE, 1987). Normalverdier for vannføring fra 672 avrenningsområder ble benyttet. Observasjonsserier til avrenningsområdene hadde enten data i den aktuelle perioden eller ble justert til denne ved regresjonsteknikker. Til støtte for vurderingen ble det benyttet observasjoner av nedbør, verdier for aktuell fordampning, fremherskende vindretning og topografi. En subjektiv vurdering av variasjonen av avrenning i rommet og med høyden ble gjort.



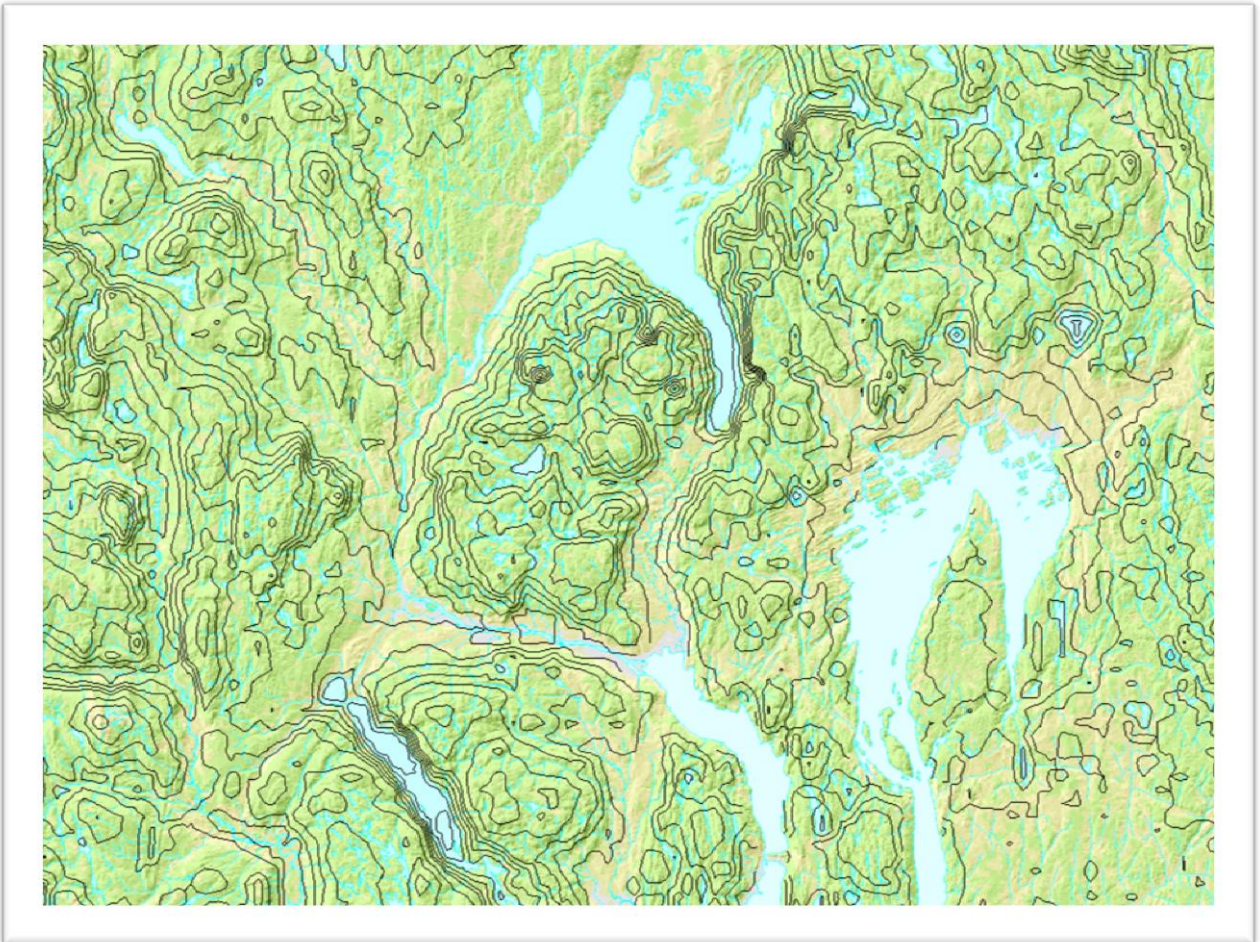
Figur 2-2 Digitalisert isohydatkart for Norge for 1930-1960 (NVE Atlas)

Kartet for Norge ble laget ved å tegne isolinjer gjennom punkt som man antok hadde lik avrenning. I områder uten observasjoner måtte man bruke skjønn. Ved å vekte avrenning for ulike høydenivåer med arealet ble det beregnet et gjennomsnitt for nedbørfelt med observasjoner og det ble foretatt en justering av variasjonen i rommet til man oppnådde samme verdi som observasjonene viste. Denne justeringen ble overført til naboområder uten observasjoner ved bruk av skjønn. Det er utført kontroll av kartenes verdier mot observert avrenning i ettertid ved hjelp av GIS og det er funnet at det er store feil i mange områder.

Usikkerheten i isohydatenes forløp varierer fra område til område avhengig av stasjonstetthet, topografi og usikkerheten i datagrunnlaget (NVE, 1987). Den øker generelt med avtagende størrelse på nedbørfeltet og antas å kunne variere fra ± 5 % til noe over ± 20 % i enkelte områder (NVE, 1987).

2.4.2 Automatisk metode

Avrenningskartet for 1961-1990 (figur 2-3) baserer seg på vannbalanseberegninger med en romlig distribuert versjon av HBV-modellen for kvadratiske landskapselement med areal 1 km² (Beldring et al, 2002). Avrenningen presenteres som spesifikk avrenning. Gridded Water Balance Model (GWB) ble utviklet av Sælthun et al (1996).



Figur 2-3 Modellgenerert isohydatkart for Norge for 1961-1990 (NVE Atlas)

De viktigste trekkene i metoden som er benyttet ved utarbeidelse av kartet er:

- korreksjon av målefeil for nedbør, romlig interpolasjon av observert nedbør og temperatur til et rutenett med størrelse 1 km²,
- beskrivelse av topografi og arealbruk ved hjelp av digitale terrengdata fra Statens kartverk,
- kalibrering av den hydrologiske modellen ved hjelp av vannføringsobservasjoner,
- vannbalanseberegninger med den hydrologiske modellen,

- akkumulering av simulerte verdier over avrenningsområder
- korreksjon av modellens beregninger ved hjelp av observerte data

Nedbørstasjonene er klassifisert i fem eksponeringsklasser med faste korreksjonsfaktorer for ulike nedbørstyper. For hver rute beregnes arealnedbør ved romlig interpolasjon av data fra de tre nærmeste nedbørstasjonene ved invers avstandsvektning. En eksponentiell høydegradient for nedbør er benyttet for høydekorreksjoner. For temperatur benyttes en tilsvarende metode. Modellen benytter regionale parametersett som er basert på forekomst av isbreer, sjøer og vegetasjonstyper i den enkelte rute.

400 nedbørserier og 93 temperaturserier med data i perioden 1961-1990 er benyttet som inngangsdata til den hydrologiske modellen. Observerte vannføringsdata fra 448 hydrologiske målestasjoner med data i den aktuelle perioden er benyttet for å korrigere og tilpasse modellens beskrivelse av hydrologiske prosesser til virkelige forhold.

2.5 Estimering i Umålte Felt (PUB)

Estimering i umålte felt har nylig fått mer oppmerksomhet. Dette beviser et program som ble lansert i 2003 av International Association of Hydrologiske Sciences (IAHS). Deres initiativ, som kalles "Predictions in Ungauged Basins" (PUB) har som mål "formulating and implementing appropriate science programmes to engage and energize the scientific community, in a coordinated manner, towards achieving major advances in the capacity to make reliable predictions in ungauged basins." (Sivapalan et al., 2003). Hensikten med modellering er å redusere usikkerheten i hydrologiske beregninger.

Regionalisering er en prosess for å overføre informasjon fra nedbørsfelt med måleserier til umålte nedbørsfelt for å redusere usikkerheten til modellparameter. Det skjer gjennom etablering av relasjoner mellom modellparametere og fysiske egenskaper til nedbørsfelt basert på nedbørsfelt med målingsstasjoner. Regionaliserings teknikker hjelper å bestemme/finne ut av hydrologisk atferd/respons i umålte felt. Klassifisering av målte nedbørsfelt inn i regioner i henhold til vannføring eller vassdrags- og klimatiske variabler kan øke mengden informasjon fra målte til umålte felt (Sivapalan et al., 2003; Yadav, 2007).

Objektive regionaliseringsmetoder for estimering i umålte felt er av to typer; statistiske og prosessbaserte. Statistiske metoder bruker tilgjengelige tidsseriedata av avrenning fra nabo-nedbørsfelt for å estimere avrenningen i umålte felt basert på en eller flere "similarity measures" og/eller grupperingsmetoden (Viglione et al., 2013). Statistiske metoder bruker vanligvis ikke nedbørsdata. Den største fordel med statistiske metoder er at de unngår bruk av usikre "input" variabler som nedbør og potensiell fordampning.

I motsetning, prosessbaserte metoder bruker nedbørdata (og andre klimadata) for å estimere avrenning basert på vannbalanseligninger (Viglione et al., 2013), det vil si at de baseres på nedbør-avrenningsmodeller (eksempler er HBV-modell og GWB-modell). Modellen velges avhengig av kjennskap til det hydrologiske systemet og datatilgjengelighet.

Geostatistiske og "proximity" metoder er de subjektive metodene ved estimering i umålte felt. Romlig nærhet anses ofte som den viktigste faktoren ved å anvende data fra målte til umålte felt (Blöschl et al., 2013). De enkleste regionaliseringsmetoder antar at jo nærmere en beliggenhet til målestasjon er, jo likere er avrenningsregime (Korzun, 1978, Arnell et al., 1993).

Kart som beskriver avrenningsvariasjoner kan anvendes for estimering i umålte felt. Elektroniske kart kan tillate et bredere spekter av skalaer ved å bruke disse teknikkene (Lienert et al., 2009), og et større antall stasjoner som kan kartlegges. Prosedyrer for kartlegging er ikke ekte regionaliseringer, men de baserer seg på ekstrapolering av målingsdata til umålte felt (Blöschl et al., 2013).

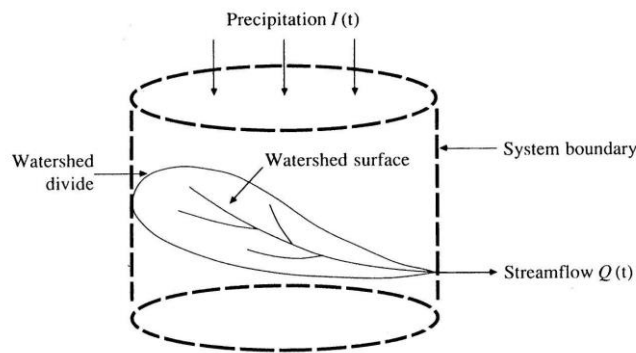
Enkle interpolasjonsmetoder antar at geografisk nærhet er den avgjørende faktoren i å bestemme en hydrologisk parameter (Blöschl et al., 2013). Slike metoder bør imidlertid anvendes med forsiktighet siden avrenning er generelt relatert til akkumulert område og tidsmessig variasjon, i stedet for en enkel 2D romlig variasjon (Gottchalk et al. 2006). Det vil si at isolinjekart for avrenning laget ved bruk av enkle interpolasjonsmetoder sjeldent er pålitelig.

Geostatistiske metoder antar at avrenning i umålte felt kan estimeres som et vektet gjennomsnitt av avrenning ved målestasjonene. Hovedforskjellen mellom interpolasjonsmetodene og geostatistikk er at i geostatistikken er avrenning i umålte felt betraktet som en tilfeldig variabel (Blöschl et al., 2013).

2.6 Hydrologiske Modeller

De fleste hydrologiske systemer er ekstremt kompliserte. Det er større sannsynlighet for at store nedbørfelt blir målte og små nedbørfelt forblir umålte (Ponce, 1989). Noen hydrologiske parametre er meget vanskelig eller umulig å måle direkte, men parametrene kan oppnås ved hjelp av modeller (Beven, 1996). Matematiske modeller kan derfor brukes for å simulere hydrologiske prosesser. Hydrologiske modeller har som mål å gi en bedre forståelse av hvordan hydrologiske fenomener opptrer i et nedbørfelt og hvordan endringer i nedbørfeltet kan påvirke disse fenomenene (Xu, 2002, 2010). Hydrologiske modeller er verdifulle verktøy i å fylle hull i tidsserier, utvide dem eller generere data for umålte felt. De kan også brukes til å studere potensielle påvirkninger på vannbalansen ved endringer i arealbruk eller klima (Xu, 2002, 2010).

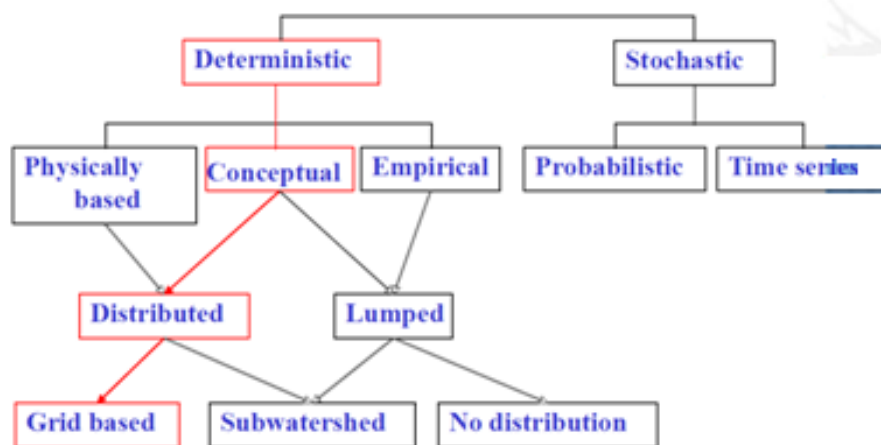
Hydrologiske modeller er basert på en forenklet form for uttrykket for bevaring av masse (Otnes, 1971, Dingman, 2002) og er et tilnærmet forhold mellom nedbør, vannføring og magasin (formel 2-1).



Figur 2-4 Et nedbørfelt som et hydrologisk system (Chow et al, 1988)

Hydrologiske data som er nødvendige for hydrologiske modellering av et nedbørfelt er hydrometeorologiske, geomorfologiske, landbruks, pedologiske, geologiske og hydrologiske (Singh og Frevert, 2002a). Hydrometeorologiske data inkluderer nedbør, snø, temperatur, stråling, luftfuktighet, damptrykk, soltimer, vind hastighet og fordampning. Matematisk modellering av nedbørfelt (figur 2-4) er nødvendig for å forstå den dynamiske interaksjonen mellom klimatiske, terrestriske, pedologiske, litologiske og hydrosferiske systemer (Singh, Frevert, 2002b; Deb, Shukla, 2011). Hydrologiske modeller blir stadig mer brukt for å løse samfunnsmessige- og utviklingsproblemer, innenfor vann, energi, miljø og økologi (Singh og Frevert, 2002b).

Først og fremst er det viktig å skille mellom deterministiske og stokastiske modeller (figur 2-5). Deterministisk modell beskriver forutsigbare fenomener. Stokastisk modell beskriver tilfeldige fenomener.



Figur 2-5 Klassifisering av hydrologiske modeller (Etter Xu, 2001)

Videre kan matematiske modeller deles i fysisk baserte eller teoretiske (hvit boks), empiriske (svart boks) og konseptuelle (grå boks) modeller i henhold til beskrivelse av fysiske prosesser (Xu, 2001; Dingman, 2002):

- Fysisk baserte (physicallybased) modeller anvender grunnleggende fysiske lover, bruker teoretiske ligninger og målbare parametre.
- Empiriske (empirical) modeller bygger på observasjon av tilførsel/input og utgang/output. Modellene representerer ikke prosessen nøyaktig, fordi de inneholder parametere som har lite direkte fysisk betydning.
- Konseptuelle (conceptual) modeller er mellomliggende modeller. Konseptuelle modeller tar i betraktning fysiske lover i sterkt forenklet form. Veldig mange modeller tilhører gruppen konseptuelle modeller.

I henhold til romlig beskrivelse kan modeller klassifiseres (Xu, 2001; Dingman, 2002):

- Lumped (lumped) modeller beskriver midlertidige (temporal) variasjoner, men kan ikke beskrive romlige variasjoner. Modellene benytter vanligvis gjennomsnittsverdier av karakteristikk til et nedbørfelt som påvirker volum av avrenning. Lumped modeller kan anvendes til flomvarsling, dam- og reservoarkonstruksjoner og drift og vurdering/utredning av vannressurser.
- Distribuerte (distributed) modeller har en evne å beskrive romlig og midlertidige (temporal) variasjon. Et nedbørfelt deles opp i rutenettcellene, volum på avrenningen beregnes separat for hver rutenettcelle. Modellene brukes til konsekvensutredning av arealbruksendring, simulering av vannkvalitet/forurensning og innen forvaltning av nedbørfelt.
- Semi-distribuerte modeller representerer romlig variasjon ved å dele opp nedbørfelt i delområder eller delområder av ulike typer arealdekke, høydeforskjell, osv.

Det hydrologiske kretsløpet modelleres vanligvis ved bruk av konseptuelle lumped modeller (HBV, WASMOD), konseptuelle semi-distribuerte modeller (TOPMOD) og fysisk-baserte distribuerte modeller (The SHE-model).

2.6.1 Usikkerhet ved hydrologiske modeller

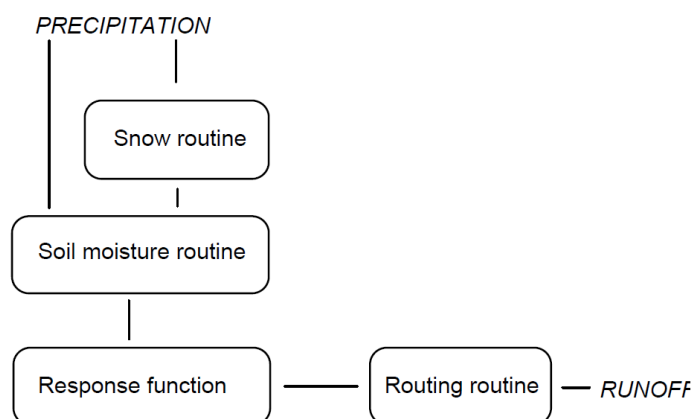
Usikkerhet er utbredt i resultatet av hydrologiske modelleringsstudier. Usikkerheten i en hydrologisk modell er en funksjon av usikkerhet i tilførselsdata (input data), modellparametre og strukturen til modellen (Dulal et al, 2006).

Siden nedbør er den drivende variabelen i hydrologiske modeller, er usikkerheten til ”input”-data av nedbør anset som den mest dominerende årsaken til usikkerhet i hydrologiske modeller (WMO-No. 168., 1994, Dulal et al, 2006). Usikkerhet til nedbørsdata kan oppstå på grunn av målefeil og feil forårsaket av begrenset antall av målestasjoner/nedbørstasjoner (WMO-No. 168., 1994).

Evapotranspirasjon er ”major loss” i hydrologiske modeller. Evapotranspirasjon er en av de viktigste komponentene i vannbalansen og er en nøkkelfaktor i hydrologisk modellering (Buttafuoco et al, 2010, WMO-No. 168., 1994). Evapotranspirasjon garanterer at både modell og datainnføring vil baseres på noe usikkerhet (Buttafuoco et al, 2010), men hvis man overser indikasjon om estimeringsusikkerhet, kan det føre til gale beslutninger og dårlig vannressursforvaltning (Buttafuoco et al, 2010).

2.6.2 HBV-modell

HBV (Hydrologiska Byråns Vattenbalansavdelning)-modellen ble utviklet av Sten Bergström (1976) ved Svenska Meteorologiska och Hydrologiska Institut (SMHI) og Sælthun (1996). HBV er en konseptuell nedbør-avløpsmodell av enkel struktur (figur 2-6) som på bakgrunn av observert nedbør og lufttemperatur beregner avløp fra et vassdrag. Modellen er semi-distribuert, hvilket gjør det mulig å dele nedbørsfelt inn delområder, høyde- og vegetasjonssoner.



Figur 2-6 Skisse til strukturen av HBV-modell (Seibert, 2005)

HBV-modellen består av ulike rutiner (figur 2-6) som representerer snøens akkumulering og snøsmelting etter en "degree-day" metoden, "recharge" og aktuell evapotranspirasjon som funksjoner av aktuell vannlagring i en "soil-box", generering av avrenning ved to lineære reservoarer med tre mulige avrenningskomponenter, og "channelrouting" ved en enkel triangulær vektet funksjon. Modellen benytter nedbør og temperatur som tilførselsvariabler (inputs variables); temperatur for beregning av snøens akkumulasjon og smelting (tabell 2-1). Modellen er mest brukt for simuleringer og prognoser for vannføring i Norge (nve.no, 2009).

Tabell 2-1 Data til hver rutine (Seibert, 2005)

Submodel	Input data	Output data
Snow routine	Precip., Temp.	Snow pack, snow-melt
Soil routine	Pot.Evap., precip., snowmelt	Act.Evap., 'soil moisture', groundwater recharge
Response function	Groundwater recharge, (pot.ET)	Runoff, 'Groundwater level'
Routing routine	Runoff	Simulated runoff

HBV-modellen kan benyttes til å utvide avrenningsdataserier (eller fylle hull), kvalitetskontrollere data, studere vannbalansen, lage avrenningsprognoser (flomvarsling og reservoaroperasjon), estimere damsikkerhet, undersøke effekter av endringer i nedbørfelt og å simulere avrenning i umålte nedbørfelt (Seibert, 1995).

Erfaring har vist at standardversjonen av HBV-modell hadde noen store ulemper (Lindström et al., 1997). Derfor har en ny modell blitt utviklet. HBV-96 modellen er det foreløpige endelige resultatet (Lindström et al., 1997).

Standard HBV-modell bruker en grov vektingsrutine og lapserater for beregning av arealnedbør og lufttemperatur. I HBV-96 er en geostatistisk metode (ligner kriging) basert på optimal interpolasjon innført for å beregne arealnedbør og lufttemperatur. Metoden kan baseres på dataene rett fra meteorologiske stasjoner og generell kunnskap om nedbør og temperaturmønster. Informasjon om topografiske forhold og dominerende vind kan også legges til.

Standard HBV-modell kjøres med månedlige data for beregning av langsiktig gjennomsnittlig potensiell evapotranspirasjon. Potensiell evapotranspirasjon er en funksjon av tiden i året, gjeldende lufttemperatur, vegetasjon, høyde og nedbør. Evaporasjon av innsjøer vil forekomme kun når det ikke er noen is. Det antas at vannet er frosset når temperaturen faller under null.

2.6.3 GWB-modell

I 2002 kom NVE med Gridded Water-Balance model (GWB) (Beldring m. fl., 2002). GWB-modellen er en griddet versjon av HBV-modellen. Gridstørrelsen er 1 km². I hver gridcelle bestemmes døgnverdier av nedbør, temperatur, fordamping, avrenning og eventuelt massebalanseendringer for isbreer. Gridcellene er oppdelt i kategorier etter topografi og arealbruk:

- områder over tregrensen bestående av mose og lav,
- områder over tregrensen bestående av gress og dvergbjørk,
- områder under tregrensen bestående av fjellbjørk,
- områder under tregrensen bestående av gran og furu,
- dyrket mark og eng,
- isbre.

2.6.4 Sammenligning av HBV-modell og GWB-modell

GWB-modellen er lik HBV-modellen bortsett fra den griddede strukturen og arealklassifiseringen.

HBV-modell:

- Er en matematisk modell som fremstiller de hydrologiske prosessene som matematiske likninger.
- Er en lineær modell til en viss grad. Det vil si at mange av de matematiske likningene er lineære.
- Betrakter nedbørfelt som én enhet uten hensyn til den romlige fordelingen innenfor nedbørfeltet.

GWB-modell:

- Algoritmene er beskrevet av Sælthun (1996).

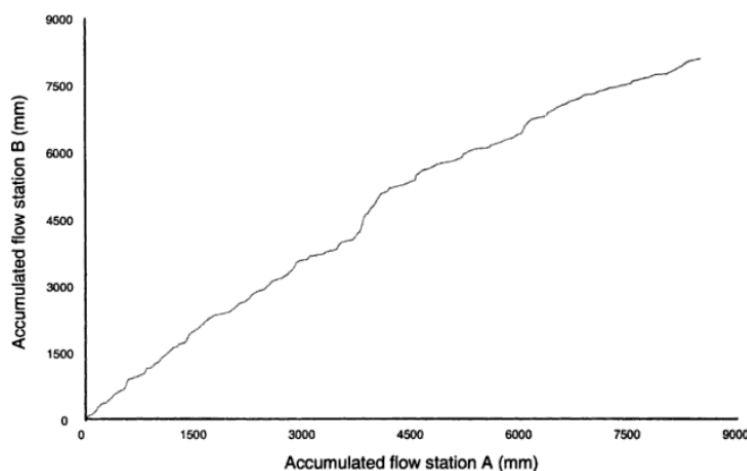
- Et preprosesseringsprogram benyttes der utvalget av meteorologiske tidsserier defineres.
- For høydekorreksjoner er en eksponentiell høydegradient for nedbør benyttet.
- Interpolasjon med invers avstandsvektning mot høydegradienter som er spesifisert i bestemte punkt benyttes å bestemme nedbørens høydegradient i den enkelte rute.

3 Metode

3.1 "Double-mass" kurve

"Double-mass" kurve er en enkel, visuell og praktisk metode for å studere konsistens/homogenitet og trend i hydrometeorologiske data (Searcy og Hardison, 1960). En hydrologisk dataserie er homogen dersom den representerer det naturlige avløpet fra feltet og ikke er utsatt for systematiske endringer over tid (Searcy og Hardison, 1960, Astrup, 2000).

Konsistensen eller homogeniteten i dataserien ved stasjonen B testes ved "double-mass" kurve (figur 3-1) når den kumulative årlige avrenningen/vannføringen for stasjonen B plottes mot kumulative årlige avrenningen/vannføringen for omkringliggende/naboliggende stasjoner som A (Searcy og Hardison, 1960, Subramanya, 1994). Hvis års- eller sesongavrenning er proporsjonalt i de to seriene vil et plott gi en rett linje (Searcy og Hardison, 1960). Hvis kurven viser en sprang eller knekk er det brudd i en av seriene.



Figur 3-1 Double-mass kurve (Rees et al., 2004)

Endringer i en hydrologisk dataserie kan opptre plutselig eller gradvis avhengig av årsak (Astrup, 2000). Jo lengre en dataserie jo er større sannsynligheten for systematiske endringer i dataserien over tid (Astrup, 2000). Inhomogeniteter i en tidsserie kan oppstå av flere grunner (WMO-TD No. 1377, 2007):

- endring målestasjonsplass,
- endring i instrumentering,
- endring i observasjonsprosedyrer,
- endring i nært/lokalt miljø rundt en målestasjon.

Selv om ”double-mass” kurven er et verktøy for å kontrollere og justere inkonsistens i hydrologiske data, har denne metoden noen begrensninger, ifølge Wigbout (1973). Det er ikke lett:

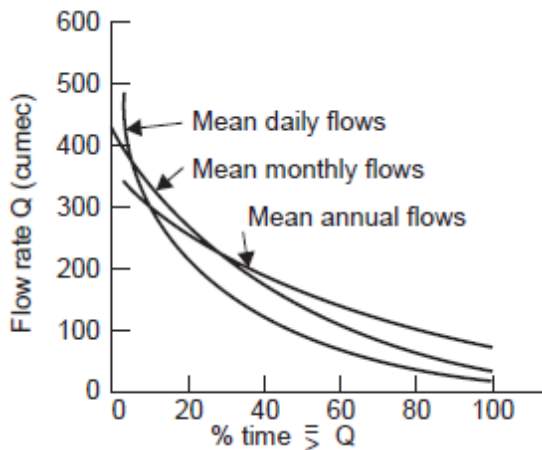
- å oppdage en uteligger/uteliggere (uteliggere er dataverdier som skiller seg vesentlig fra de andre dataverdiene),
- å finne knekkpunkt,
- å forklare en indikasjon på endring av variasjon.

“Residual flow” plott er et nyttig verktøy for å identifisere effekten av kunstige påvirkninger innenfor et nedbørfelt (Tallaksen og van Lanen, 2004). ”Residual-masscurve” metoden har fordelen av å ha færre tall å plote og dermed økt nøyaktighet (Shaw, 2011). Hver verdi reduseres med en gjennomsnittlig verdi og de akkumulerte residualene plottes mot tid (Shaw, 2011).

3.2 Varighetskurve

Varighetskurven (flow duration curve, FDC) er en klassisk metode og en av de viktigste som brukes til å representere grafisk forholdet mellom hyppighet og størrelse av vannføring (Cheng et al. 2012). Varighetskurven representerer variabiliteten i avrenning og kan brukes til å angi avrenningsrespons i målte felt (Vogel og Fennessey, 1994, WMO No168), likheter og forskjeller mellom felt, samt regionalisere avrenningsrespons for umålte nedbørfelt (Cheng et al. 2012, WMO No168). Varighetskurver kan være meget forskjellige for vassdrag med ulikt klima eller avrenningsregimer (Searcy, 1959). Selvreguleringsevnen til et felt påvirker også kurven.

”Varighetskurven viser den empiriske kumulative frekvensen til vannføring som en funksjon av prosenten av tiden vannføringen overskrider denne” (Væringstad, Hisdal, 2005). Verdiene i en vannføringsserie rangeres, deretter beregnes overskridelsesfrekvensen for hver verdi. Varighetskurver kan konstrueres for daglige, månedlige og årlige avrenninger (figur 3-2). Vannføringen kan plottes på logaritmisk skala for å få bedre leselighet på kurven (Searcy, 1959).



Figur 3-2 Varighetskurver og virkninger av forskjellige perioder (Raghunath, 2006)

Formen på varighetskurven er avhengig av klimatiske og fysiografiske egenskaper i nedbørsfelt (Searcy, 1959). Den grafiske metoden har fokus på å utforske klimatiske og fysiografiske egenskaper som påvirker formen på varighetskurven (Mimikou og Kaemaki, 1985). Vannføringdata er avhengig av klima, topografi, og geologi og gir en fordeling av avrenning i tid og størrelse (Searcy, 1959). Derfor kan varighetskurven brukes til å studere egenskapene til et nedbørsfelt eller å sammenligne egenskapene til et eller flere nedbørsfelt (Searcy, 1959).

Fremgangsmåte i Excel:

- Vannføringen sorteres etter størrelse,
- Antall av alle verdiene i dataserien beregnes,
- Sannsynligheten for overskridelse for hver vannføring beregnes etter ligningen:

$$P = \frac{m}{n+1} \cdot 100 \quad \text{Formel 3-1}$$

hvor P = angir hvor stor del av tiden (angitt i %) vannføringen har vært større enn en viss verdi (angitt i % av feltets normalavløp)

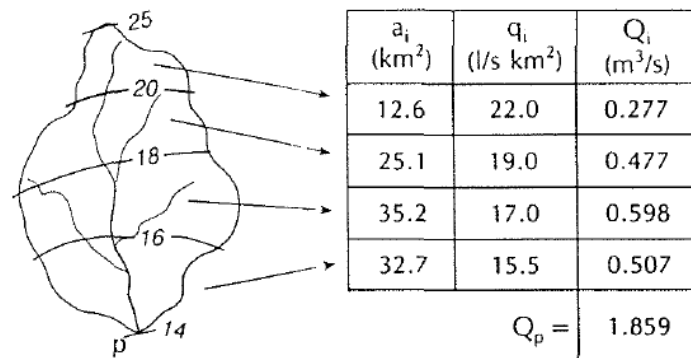
m = "the ranked position on the listing"

n = antall hendelser for perioden i dataserien

Overskridelses-sannsynlighet (exceedance probability) plottes mot vannføring.

3.3 Isohydatmetode

For å estimere spesifikk avrenning i et nedbørfelt er en prosedyre nødvendig for å beregne den gjennomsnittlige romlige middelverdien. Metoden kjent som isohydatmetode (isohyetalmethod). Databehandling har et sett av statistiske verktøy for å inkorporere den romlige korrelasjonen av observasjoner (Goovaerts, 1997). Det er en ofte foretrukket metode, fordi metoden tillater å estimere verdier i umålte felt (Sarangi et al 2005). Isohydatmetoden (fig 3-3) betraktes å være den mest nøyaktige for å få gjennomsnittsverdier over et område (Subramanya, 1994; WMO-No. 168; 1994, Murthy, 2002). Nøyaktigheten av isohydatmetoden avhenger av hvor dyktig den som interpolerer konturene er. I tillegg til ishydatmetoden finnes det også "Arithmeticmean", "Thiessen Polygon", "Percent normal" og "Hypsometric" metodene for å beregne gjennomsnittlige variabler.



Figur 3-3 Et eksempel på beregning av avrenning i et nedbørfelt (Kristensen, 1996)

Områdene mellom isohydat-konturer bestemmes ved planimeter, ved å legge et transparent rutenett-papir over isohydatkart og summere antall gridpunkter innenfor konturene (WMO-No. 168., 1994), ved triangulering eller/og AutoCAD / GIS-programvare. Datateknikk er i ferd til å erstatte manuell analyse i stor grad (WMO-No. 168., 1994, Burrough og McDonnel, 1998).

Beregning av avrenning er enkel når grenser for ulike nedbørfelt og isohydater er tilgjengelige (Burrough, P.A. 1986, Kristensen, 1996). Det beste verktøyet for denne type beregninger er GIS, fordi GIS gir en mulighet til å velge ønskelig eller nødvendig oppløsningen (Kristensen, 1996, Burrough og McDonnel, 1998).

Avrenning Q for et nedbørsfelt er tradisjonelt beregnet ved hjelp av ligning:

$$Q = \sum_{a=i}^{a=n} a_i q_i / 1000 \quad \text{Formel 3-2}$$

hvor a_i er området mellom to isolinjer og q_i er den midlere spesifikke avrenningen for a_i (figur).

Sannsynligvis en av de første norske omtaler om isohydater finnes i rapporten "Planning of hydrological observations in catchment areas with partially glacier covered tracts" av Ivar Hagen i 1967. Ifølge Hagen (1967) er det fornuftig å anta at isohydates oppstår og fordeler seg tilsvarende som isohyetes. Der isohyetes lokaliserer et maksimum eller minimum, skal det forventes å finne den tilsvarende spesifikke avrenningen. I områder hvor isohyets gradient er bratt burde isohydates vise den samme egenskapen.

To tidlig daterte avløpskart er i «Hydrologi i praksis» (Otnes, 1971). Et kart er datert 1958 (Hydrologiske undersøkelser i Norge) og det andre kartet er mer detaljert og datert 1966 (Statskraftverk). Men generelt er det veldig lite informasjon om isohydates og nesten ingen informasjon om utgivelse av de aller første isohydatkartet i Norge.

I denne oppgaven ble to metoder brukt for å beregne den spesifikke avrenningen.

3.3.1 Manuell metode

Fremgangsmåte for utarbeidelse av isohydatmetode ved bruk av grid-papir:

- Nedbørfelt zoomes inn til ønsket kartutsnitt, velges ”Tegning” og deretter ”Tegn polygon”
- ”Årsavrenning” (1930-1960) krysses av
- Ternelag skrives ut
- ”Isolinjer” (1961-1990) krysses av
- Ternelag skrives ut
- Gjennomsnittlig avrenningsverdier for hvert isohydatsone bestemmes
- Avrenning i hvert gridområde innenfor nedbørfelt beregnes/bestemmes
- Verdiene i hvert gridområde adderes
- Summen divideres med antall gridområder
- Prosedyren gjentas for alle nedbørfeltene

3.3.2 Automatisk metode

Beregning av normalavrenning ved bruk av NVE Atlas verktøy:

- ”Årsavrenning” (1930-1960) krysses av.
- På i verktøyknappen velges ”Utvalg” og klikkes på ”Velg med polygon”
- Ønsket polygon trekkes opp i kartet
- Resultatet blir lagt til under ”Utvalg”
- ”Export to CSV” velges
- Filen lastes ned og genereres i Excel
- Fremgangsmåte gjentas ved å velge ”Isolinjer” (1961-1990)

3.4 Enkel lineær regresjon

Regresjon er en velkjent og velprøvd metode som brukes i hydrologi. Regresjons relasjoner kan utvikles til å utvide dataserie på en målestasjon fra data som innhentes på en annen målestasjon og å estimere vannføring av egenskaper til nedbørsfelt for trend analyser (Gordon et al., 2004).

En regresjonsanalyse er en kvantitativ analyse som brukes for å finne sammenhengen mellom to eller flere forskjellige variabler. Den vanligste formen for regresjonsanalyse er enkel lineær regresjon med to variable (minste kvadraters metode). Ligningen for enkel lineær regresjon (minste kvadraters metode):

$$Y = a + bX \quad \text{Formel 3-3}$$

hvor b er stigningstallet (slope), a kalles skjæringspunktet (intercept). En regresjonslinje (en rett linje som beskriver hvordan responsvariabelen y endrer seg når forklaringsvariabelen x skifter verdier) predikerer verdien av y for en gitt verdi av x.

r^2 er determinasjonskoeffisient og forklarer andelen av variasjon i y som kan forklares av x. Ligningen for determinasjonskoeffisient r^2 er:

$$r^2 = \frac{\sum(\hat{y}_i - \bar{y})^2}{\sum(y_i - \bar{y})^2} \quad \text{Formel 3-4}$$

Hvis modellen er en "perfect fit" til dataene, vil r^2 -verdien være 1, mens hvis ingen av variasjonen til Y-verdiene blir forklart med regresjonsligningen, vil r^2 -verdien være 0. Jo nærmere verdien r^2 er til 1, desto bedre passform har ligningen til dataserien. Enkeltvis kan regresjonsanalyse utføres ved bruk av Excel.

3.4.1 Infylling av manglende data

Datasettet, særlig vannføringsdata, er beheftet med begrenset antall målinger og usikkerhet i de enkelte målingene. Måleutstyr kan svikte. Da er metoder for å fylle hull i datasettet nødvendige. En rekke metoder som Hydrografisk og klimatisk sammenligning, "Discharge ratio», regresjonsmetode, vannbalansemetode, "Mathematical translation" og "Flowrouting" (WMO-No. 1044, 2010) kan benyttes for å fylle hull i datasett.

I datasettet med for eksempel 30-40 årlige avrenningsverdier er det nødvendig å fylle ut de manglende verdiene. For å fylle hull i datasett kan enkel lineær regresjon som beskrevet ovenfor anvendes. Ved hjelp av den estimeres regresjonslinjen og dermed den anslåtte verdien av y for x .

3.4.2 Trend beregning og t-test

Trendanalyse i oppgaven er basert på den enkle lineære regresjonen som er mye brukt for å påvise trender i hydrologiske data.

Endringer i klima og særlig økte temperaturer har blitt observert i de siste tiårene (Solomon et al., 2007). Dictionary of Global Climate Change (Maunder, 1995) definerer en klimatisk trend som:

“A climatic change characterized by a smooth, monotonic increase or decrease of average value in the period of record. Not restricted to a linear change with time, but characterized by only one maximum and one minimum at the end points of the record.”

I Norge har temperaturen økt, altså har det vært regionale endringer i nedbør og årlig avrenning med økt avrenning om vinteren og våren (Wilson et al., 2010). Endringer i klima vil forventes å føre til endringer i hydrologi, det vil si økende årlig avrenning (Beldring et al., 2008).

Det er en rekke metoder for å estimere trend i dataserie. En av de enkleste metodene for trend deteksjon og estimering er enkel lineær regresjon. Med lineær regresjonsanalyse er det enkelt å beregne en rett linje som best mulig passer en måleserie. En fordel med denne metoden er at det er lett å anvende på et stort antall områder. En ulempe er at den kan unngå å påvise trender som er ikke-lineære. Excel regner ut helningen til den rette linjen og skjæringspunktet med den vertikale y -aksen.

Hann (1977) gir instruksjoner for å utføre en t -test. t -test, også kalles Students t -test, er en statistisk hypotesetest basert på Student t -fordelingen. Testen brukes for å teste om gjennomsnittsverdien i et datasett er signifikant forskjellig fra en nullhypotese eller om stigningstallet til en regresjonslinje er signifikant forskjellig fra null. Det antas at en dataserie er normalfordelt og σ er ukjent.

I oppgaven er nullhypotesen at det er ingen trend. De vil si at årlig avrenning endrer ikke seg med tiden og endringene i avrenning fra år til år er tilfeldige. Utgangspunktet er at en trend regnes ut basert på et sett med årlige middelvannføringer. Trenden indikerer oppgang eller nedgang.

H_0 : det er ingen trend i en dataserie

H_1 : det er trend i en dataserie

H_0 forkastes dersom p-verdien er mindre enn signifikansnivået α . Men hvis H_0 forkastes, det betyr ikke alternative hypotese H_1 er sann. Det betyr at signifikansnivå er ikke rimelig å holde fast på H_0 . H_0 forkastes når p-verdi er liten nok, det vil si lavere enn signifikansnivået. Jo mindre p-verdien er, jo sterkere bevis har vi mot H_0 .

Signifikansnivå $\alpha = 0.05$:

Forkaster H_0 når p-verdi $\leq \alpha$

Ikke grunnlag for å forkaste H_0 når p-verdi $> \alpha$

4 Data og materiale

Det eksisterer i dag ingen måling av vannføringen i nedbørfelt til Glitrevann, derfor bør videre analyser baseres på en sammenligning med tidsserier for avrenning fra målestasjoner i andre sammenlignbare nedbørfelt.

Et nedbørfelt kan beskrives ved hjelp av feltparametere som areal, avrenning, innsjøprosent eller effektiv innsjøprosent, høydeforhold, breprosent, snaufjellprosent og hydrologisk regime (WMO No. 324, 1972; Slapgård et al., 2010). Alle disse forholdene bestemmer feltets hydrologi og er således relevante for sammenligninger og statistiske analyser.

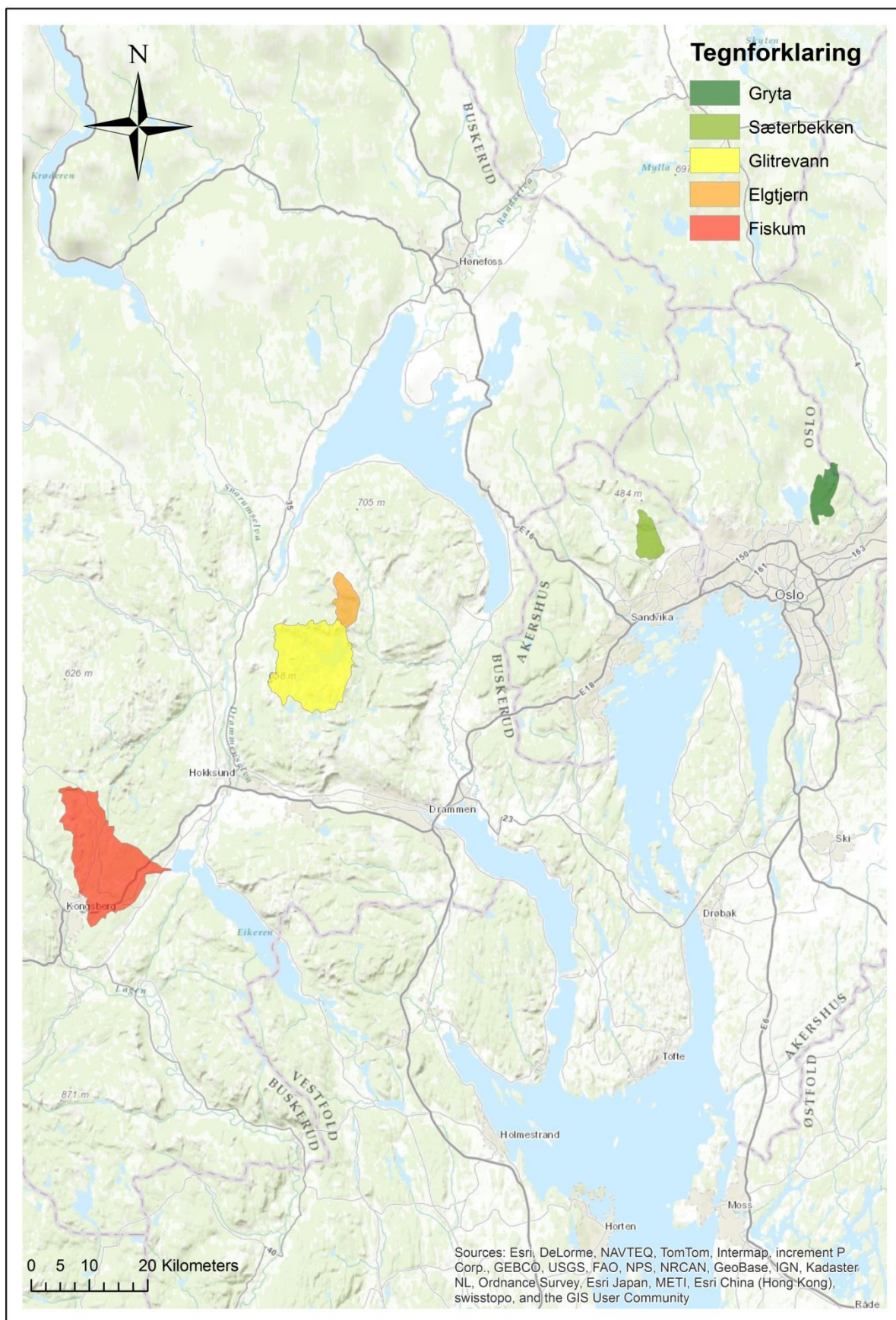
Representative nedbørfelt er en god metode innen regionaliseringsstudier (WMO No. 324, 1972). En representativ sammenligningsstasjon bør ha feltparametere som er ganske like med hoved nedbørfeltet. Størrelsen til nedbørfeltet eller effektiv sjøprosent bestemmer selvreguleringsevnen sammen med grunnvannsmagasinet. Høydeforhold og hydrologisk regime avgjør fordeling av vannføringen over året. En bre avgir betydelig mer vann om sommeren i motsetning til nedbørfelt uten bre-tilsig.

Datakvalitet og lengde på serien er også avgjørende når en sammenligningsstasjon velges. Tilsvarende antall år med data og god datakvalitet bør ligge til grunn. Nedbørfeltet til en stasjon må være uregulert slik at dataene gjenspeiler de naturlige vannføningsvariasjonene i nedbørfeltet. Minimal forandring i arealbruk er også avgjørende for å få en god tidsserie til bruk for å sammenligne nedbørfelt.

Tidsserier over en lang årrekke er grunnlaget for alle hydrologiske beregninger (Skaugen, 2010). Det eksisterer i dag ingen måling av vannføring i nedbørfelt til Glitrevann, så videre analyser må baseres på en sammenligning med tidsserier for avrenning fra målestasjoner i nedbørfelt med lignende avrenningssforhold.

4.1 Studieområde

Det er fire målestasjoner med tilfredsstillende datakvalitet som ligger i uregulerte felt, den nærmeste er Elgtjern stasjon. Beliggenhet til nedbørfeltet Glitrevann og de representative nedbørfeltene til Elgtjern, Sæternbekken, Gryta og Fiskum er vist i figur 4-1.



Figur 4-1 Neddbørfeltene og deres beliggenhet

Nedbørfeltet til Glitrevann ligger i Drammen i Nordmark, også kalt Finnemarka. Nordmark grenser mot Drammenselva i sør og vest, mot Lierelva i øst, og i nord går grensen nesten ned til Tyrifjorden. Nedbørfeltet til Glitrevann karakteriseres som et nesten urørt naturområde med unntak av tunnel, veg, hogst, rør-, og dammer. Vassdraget er allikevel påvirket av flere reguleringer. De viktigste reguleringene er overføring av Glitrevann til Drammen. I dag er vannet drikkevannskilde for Drammen og flere av kommunene i nærheten. Gjennom flere mindre overføringer føres vannet i tunnel fra Glitrevann til Drammen og omland. Magasinet blir også aktivt brukt til flomdempning. Magasinet er reguleringsvolumet. Man tapper ned vannet når man vet at det kommer mye nedbør og/eller snøsmelting slik at man kan ta imot flomtopper og dempe dem før de sendes regulert ut i elva nedstrøms. Vannet er det største innen feltet med sentral beliggenhet. Glitrevann var tidligere regulert til fløtingsformål. Basisopplysninger om Glitrevann er gitt i tabell 4-1.

Tabell 4-1 Basisopplysninger om Glitrevann og Finnemarka

Basisopplysninger om	Glitrevann	Finnemarka
Fylke	Buskerud	
Areal (km²)	3.68	390
Høyde (moh.)	358	700-200
Vassdrag / Vassdragsnr.	Glitrevann/Lierelva	011 AZ
Kommune	Modum, Øvre Eiker, Nedre Eiker, Drammen, Lier	

Glitrevann ligger i en kaldera som er en kollapset sentral del av en vulkan der proppen i vulkanen har rast sammen og falt ned i den glødende granitten (Hurum og Frøyland, 2004). Glitrevannkalderaen er en rund nedsynking eller forsenking med en omkrets på ca 10·16 km (Hurum og Frøyland, 2004). Strukturene i fjellgrunnen er tydelig på det geologiske kartet (vedlegg 5), selv om kalderaen ikke er synlig.

Bergartene i Finnemarka er dannet ved avleiring på havbunnen eller som vulkansk materiale (Solbakken, 1982). Finnemarka består av Drammensgranitt som er en permisk eruptiv bergart. På grunn av den eruptive meget næringsfattig berggrunnen vokser det kun næringsfattige furuskoger, barskog og høymyrer (Lund, 1982). Finnemarka har noe av den rikeste flora i landet. En variert og flere steder rik flora vokser her på grunn av vekslende berggrunn med avsetningsbergarter og bergarter av vulkansk opprinnelse (Lund, 1982).

Nedbørfeltet til Elgtjern, Sæternbekken og Gryta er på cirka 6-7 km², mens nedbørfeltet til Fiskum er på 51.6 km². Nedbørfeltet til Elgtjern, Gryta, Sæternbekken og Fiskum er alle uregulerte felt. All opplysningene om nedbørfeltene er gitt i tabell 4-2. Feltparametre og klimadata ble tatt fra NVE sitt digitale verktøy Lavvann.

Tabell 4-2 Nedbørfeltene og deres feltparametre og klimadata

	Glitrevann	Elgtjern	Gryta	Sæternbekke	Fiskum
	n			n	
Fylke	Buskerud	Buskerud	Oslo	Akershus	Buskerud
Vassdrag	Glitra	Glitra	Nordmarksvassdrage	Øverlandselva	Fiskumelva
			t		a
Dyrket mark	0.0 %	0.0 %	0.0 %	2.4 %	4.2 %
Myr	3.5 %	6.6 %	1.7 %	3.3 %	3.0 %
Sjø	14.2 %	7.6 %	2.8 %	0.2 %	1.3 %
Skog	82 %	85.5 %	94.2 %	93.3 %	88.9 %
Urban	0.0 %	0.0 %	0.0 %	0.5 %	0.1 %
Klimaregion	Øst	Øst	Øst	Øst	Øst
Årsnedbør	907 (mm)	922 (mm)	886 (mm)	871 (mm)	840 (mm)
Årstemperatur	2.9 oC	2.5 oC	4.1 oC	4.6 oC	3.8 oC

4.2 Tilgjengelige data

Observasjoner fra fire målestasjoner ble benyttet for å estimere vannføring. Målestasjoner, lengden til måleseriene, observasjonssted, stasjonens høyde, nedbørfeltens størrelse, effektiv sjø prosent og koordinater til målestasjoner er gitt i tabell 4-3. Detaljerte kommentarer til stasjonene er gitt i Vedlegg 3.

Tabell 4-3 Aktuelle sammenligningsstasjoner og feltkarakteristika (NVE)

Stasjon	Stasjons-navn	Observasjons periode	Observasjons-sted	Stasjonens h.o.h (m)	Areal (km ²)	Eff.sjø %	UTM – koordinater Øst	UTM – koordinater Nord
6.10.0	Gryta	1967-dd	Elv – kunstig profil	163	7.03	0.37	600456	6651350
8.6.0	Sæternbekken	1971-dd	Elv – kunstig profil	105	6.23	0.01	587518	6646092
11.4.0	Elgtjern	1975-dd	Innsjø	430	6.75	3.3	560618	6639592
12.193.0	Fiskum	1976-dd	Elv – kunstig profil	90	51.6	0.1	544418	6617992

Tilgjengelige vannføringsdata ble visuelt undersøkt for å sjekke om datasettet er fullstendig og om settet mangler verdier. Sammenligningsstasjonene har forskjellige lengde på de årlige vannføringsserier. Stasjoner, dataserienes lengde og manglende årlige verdier er presentert i tabell 4-4. Verdier for årlig middelvannføring er også gitt i Vedlegg 4.

Tabell 4-4 Stasjoner og deres serielengder. Mørke områder indikerer serielengdene og lyse områder manglende data

	1968	1969	1970	1971	1972	1973	1974	1975	1976	1977	1978	1979	1980	1981	1982	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
6.10 Gryta																																													
8.6 Sæternbekken																																													
11.4 Elgtjern																																													
12.193 Fiskum																																													

Årlig vannføring kan karakteriseres som en sentral tendens som gjennomsnitt og av variabilitet som variasjonskoeffisienten (C_v). Tabell 4-5 viser grunnleggende statistikk for nedbørfeltene. Nedbørfelt til Gryta, Sæternbekken og Elgtjern er veldig like i forhold til størrelse på nedbørfeltene. Fiskum som er cirka syv ganger større en de andre nedbørfeltene har seks til syv ganger større vannføring. Men variasjonskoeffisient for alle nedbørfeltene er veldig lik.

Tabell 4-5 Grunnleggende statistikk for årlige datasett

	Periode	Gjennomsnitt	Minimum	Maksimum	C_v	Antall år
Gryta	1968-2012	137.3 l/s	60.3 l/s	248.2 l/s	25.1	45
Sæternbekken	1971-1986 og 1989-2012	113.0 l/s	51.2 l/s	217.8 l/s	28.7	39
Elgtjern	1976-1994 og 1996-2007	139.9 l/s	81.1 l/s	233.6 l/s	26.4	31
Fiskum	1977-2012	818.5 l/s	406.3 l/s	1459.6 l/s	28.9	36

4.2.1 Elgtjern målestasjon

Det er et brudd i vannføringskurven for Elgtjern målestasjon og den beskrives derfor litt ekstra. Feilen kan skyldes vegetasjon, forandring i elvebunn etter flommer, isoppstuvning, for få direkte vannføringsmålinger.

Målestasjon 11.4 Elgtjern ble opprettet i 1975 i forbindelse med kartlegging av vanntilførselen til Glitrevann. Glitrevannverket eide stasjonen fram til 2003, da den ble overtatt og driftet videre av NVE (Pers komm. Vibeke Svenne september 2013). Dette er et uregulert felt på 6.63 km², og stasjonen er driftet videre som en del av det nasjonale hydrologiske nettverket.

Instrumenteringen er oppgradert på samme måte som resten av NVEs hydrologiske målestasjonsnett, med logger som logger vannstand og overfører data til NVE sin database (Pers komm. Vibeke Svenne September 2013).

Avrenning beregnes indirekte ved hjelp av vannføringskurve. Vannføringen for Elgtjern beregnes også ved hjelp av vannføringskurve. I HYDRA II-basen er ligningene for å beregne vannføringen:

Segment 1: $Q = 0.4627(h + 0.0)^{1.8839}$ gjelder for høyde 0 – 0.41 (m)

Segment 2: $Q = 10.0256(h + 0.0)^{5.1989}$ gjelder for høyde 0.41 – 0.99 (m)

hvor Q er vannføring (m³/s) og h er vannstand (m). Ved manuell inspeksjon ble daglige vannførings- og vannstandsverdier for Elgtjern stasjon undersøkt. Det ble oppdaget at verdiene mellom 86.3 og 97.5 l/s aldri opptrer på grunn av overgang fra en til en annen ligning. Den høyeste vannstanden som ble registrert er 0.8 m.

4.3 Materiale og verktøy

I oppgaven ble digitale verktøyer, database og kart brukt:

- *Hydra II* er et system og en database for å lagre, kontrollere, bearbeide, analysere og presentere hydrologiske og meteorologiske data.
- *NVE Atlas* er et kartverktøy på internett og et fullverdig geografisk informasjonssystem. NVE Atlas har verktøy for å tegne og måle i kartet, transformere koordinater, for avansert spørringer til GIS-databasen og enkle bufferanalyser.

- *REGINE* (REGIster over NEdbørfelt) er den nasjonale hydrografiske inndelingen av vassdragene i Norge. REGINE-data er tilgjengelig i NVE Atlas. Databasen REGINE som er register over nedbørfelt inneholder ca 20 000 REGINE-enheter. Alle REGINE-enhetene er tildelt et unikt nasjonalt vassdragsnummer. Ifølge NVE inneholder REGINE mange vannskiller som er feil definert.
- Digitaliserte isohydatkart i NVE Atlas for:
 - 1930-1960 ("Årsavrenning 1930-60")
 - 1961-1990 ("Isolinjer 1961-90")
- Manuelt produserte kart (målestokk 1:500000); referanseperiode 1.9.1930-31.8.1960 Blad nr 2 dekker det aktuelle området. Totalt 8 blad dekker hele innlands-Norge. Isolinjer viser årlig middelavrenning i l/s km². Kurveintervall er 2 l/s km². Tellekurve er for 10 l/s km².
- Vannmerker som ble brukt til å tegne isolinjer for spesifikk avrenning 1930-1960 (tabell 5):

Tabell 40-6 Avrenningsdata for 1930-60 kartblad, blad nr.2 (NVE, 1987)

Målestasjon for vannføring		Feltareal	Årlig middelavrenning (1930-60)		
Discharge gauging station		Drainage area	Mean annual runoff (1930-60)		
Nr	Navn/Name	km ²	10 ⁶ m ³	m ³ /s	l/s km ²
1687	GRYTA	7.0	3.4	0.11	15.6
1761	LIERBYEN	266.0	156.0	4.94	18.6

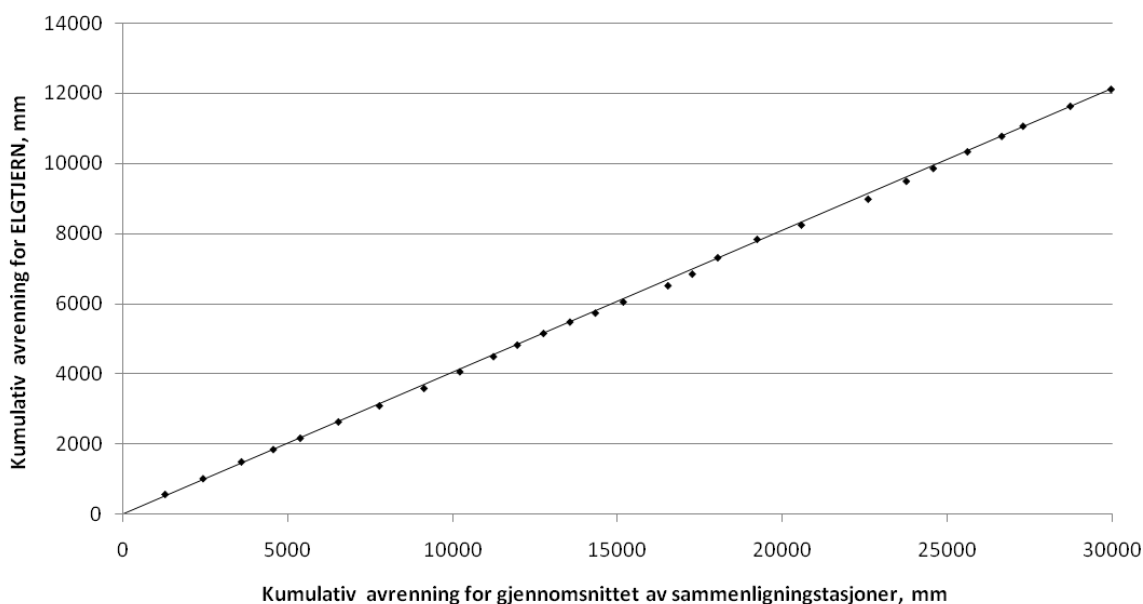
På baksiden av avrenningskartet (Blad nr.2) for Norge for 1930-1960 finnes det en liste med vannmerker som ble brukt for å lage avrenningskart. Målestasjonene Gryta og Lierbyen har fått nye numre, de gamle finnes ikke lenger i Hydra II-basen. Det bør bemerkes at disse målestasjonene ble etablert etter perioden 1930-1960. Hvorfor vannmerkene til Gryta og Lierbyen ble brukt for å lage avrenningskart for 1930-1960 forklarte S. Beldring ved Hydrologisk avdeling i NVE den 4.3.2014 slik: ”Avrenningskartet for 1930-1960 var ferdig på midten av 1980-tallet. Alle stasjoner med data med tilstrekkelig kvalitet ble tatt i bruk, uansett periode. Seriene som ikke hadde data i perioden 1930-1960 ble forlenget/beregnet for denne perioden ved hjelp av regresjon, antakelig med døgndata. På den måten fikk man et større utvalg stasjoner som grunnlag for å tegne isolinjer på kartet.”

5 Resultater

5.1 "Double-mass" kurve

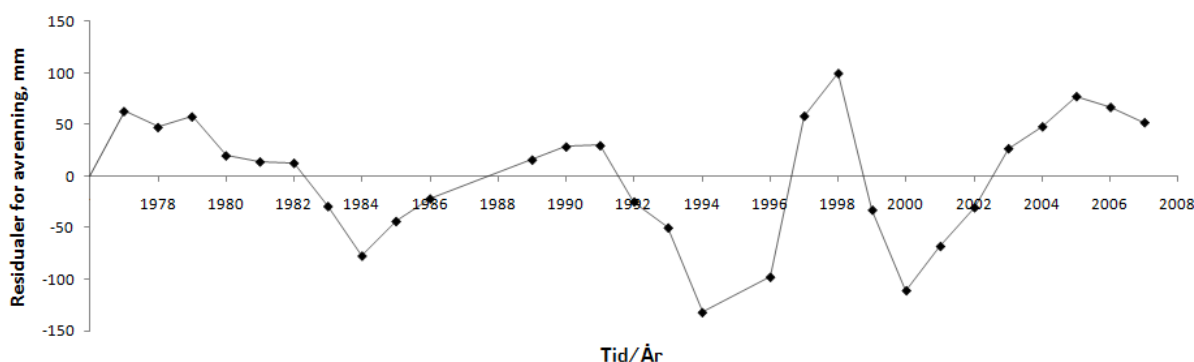
De daglige vannføringsseriene til nedbørfeltene Elgtjern og Sæternbekken inneholder hull på fra flere dager til flere år. Derfor ble det valgt å fjerne de årlige vannføringsverdiene som hadde utilstrekkelig kvalitet eller manglet verdier for hele året før konstruering av "double-mass" kurve.

"Double-mass" kurve viser ingen tydelig tegn på brudd for Elgtjern (figur 5-1). Selv om de punktene aldri vil forekomme nøyaktig på midtlinjen, ligger punktene i figuren nært linjen. Serien kan derfor anses som konsistent eller homogen.



Figur 5-1 "Double mass" kurve. Kumulative avrenningsverdier for 1977-2007 unntatt år 1987-1988 og 1995

Plottet av "double-mass" kurve kan være vanskelig å tolke, derfor plottes "residual-mass" kurve. Searcy (1959) gir beskrivelse om "residual-mass" kurve. Et modifisert double-mass plott (residual-mass curve) benyttes for lettere å kunne identifisere et eventuelt brudd. Det akkumulerte avviket fra middelverdien beregnes for serien, kumulere restleddet (differansen) og plottet dem som en funksjon av tiden. Serien er homogen, hvis differansen er tilfeldig spredt langs tidsaksen. Tegn på brudd er hvis differansen viser en systematisk økning eller minking.

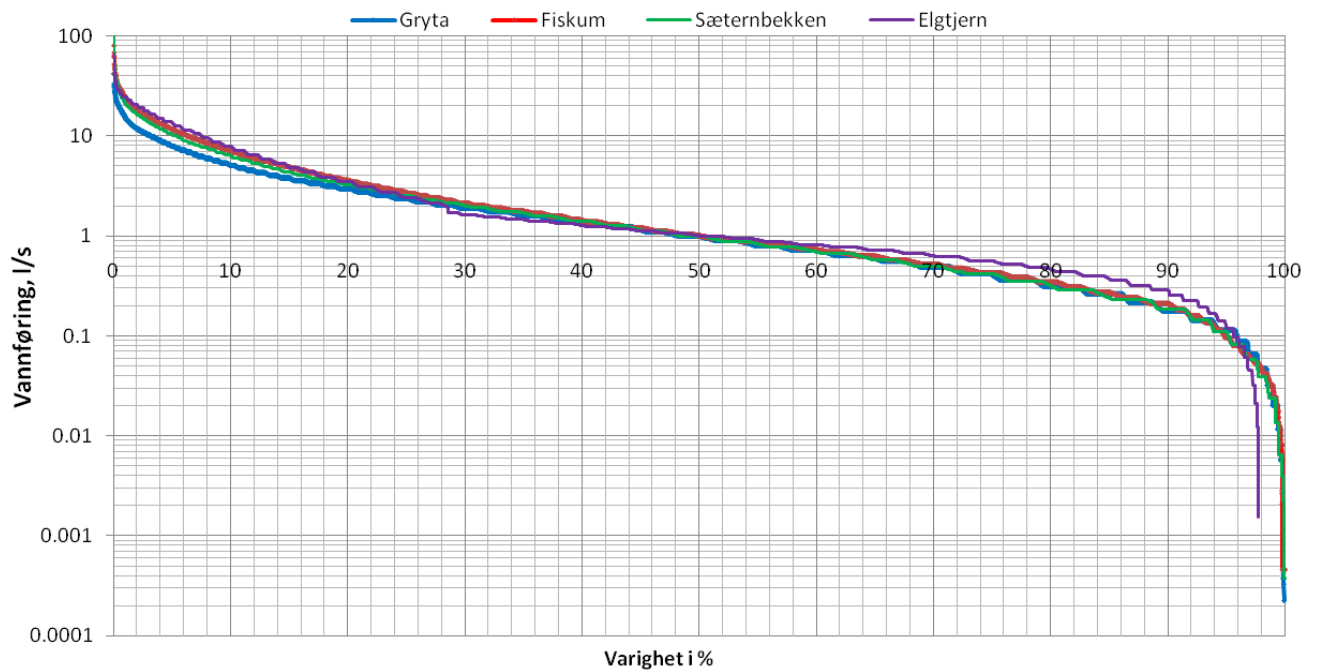


Figur 5-2 Kumulative residualer for avrenning mot tid for 1977-2007 unntatt år 1987-1988 og 1995

Figur 5-2 viser flere svinginger i "residual-mass" kurven. Residualene minker i periodene 1982-1984 og 1991-1994, øker i periodene 1996-1998 og 2002-2005, men varierer generelt uten trend. Økning i "residual mass" kurve indikerer perioder med mer avrenning enn gjennomsnitt og nedgang indikerer perioder med mindre avrenning enn gjennomsnitt. Serien anses som homogen, fordi differansen er tilfeldig spredt langs tidsaksen. Residualene viser ingen tegn på brudd i serien, fordi differansen ikke viser noen systematisk økning eller minking.

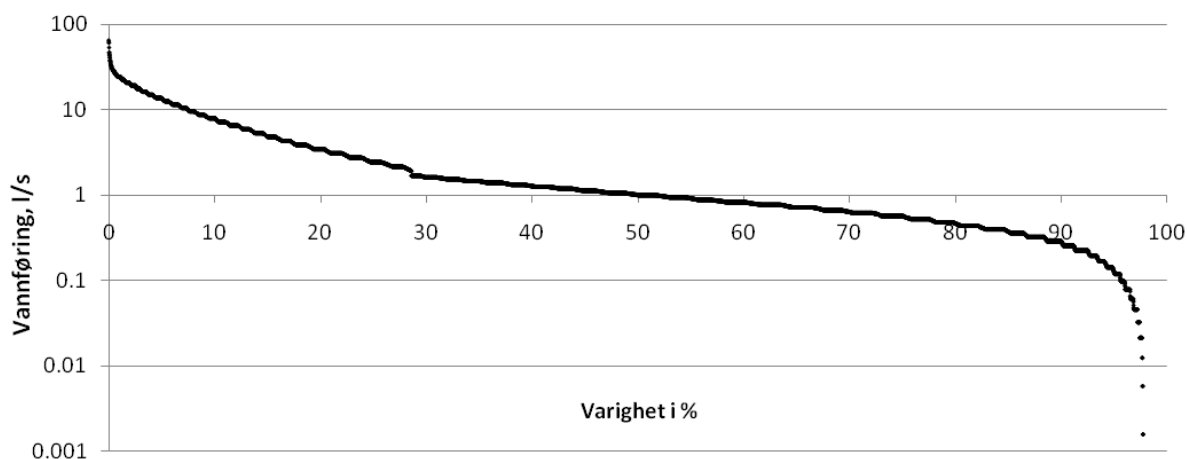
5.2 Varighetskurve

Varighetskurver for stasjonene Gryta, Sæternbekken, Elgtjern og Fiskum er gitt i figur. Kurvene er plottet i en graf for å sammenligne kurvene og helning på kurvene. Det ble valgt å plottet kurvene i et semilogaritmisk plot skalert ut fra median verdien (Q50).



Figur 5-3 Varighetskurver for sammenligningsstasjoner

Varighetskurvene i figur ser ut til å ha den samme formen og oppfører seg også likt for høye og lave vannføringer. Hydrologiske og geologiske egenskaper bestemmer/påvirker formen på varighetskurve. Kurvene har en bratt helning ved høye og lave vannføringer, det vil si høye og lave vannføringer opptrer sjelden i forhold til resten av vannføringene. I uregulerte felt kan meget varierende nedbør og lite lagringskapasitet gi en bratt helning. En veldig bratt helning ved høye vannføringer under korte perioder forventes når nedbør forårsaker flom i små nedbørsfelt. En bratt helning ved lave vannføringer fås hvis det ikke eksisterer noen naturlig eller kunstig regulering, eller en stor grunnvannskapasitet som forsyner avrenning med "base flow".



Figur 5-4 Varighetskurve for Elgtjern målestasjon. Daglige verdier for 08.10.1975-31.12.2007

Vannføringskurven til Elgtjern ble i tillegg plottet separat (figur) fordi den har et tydelig brudd i varighetskurven. Ved å benytte visuell inspeksjon av vannføringsverdier ble det observert en sprang mellom 86.3 og 97.5 l/s i den sorterte dataserien. Det vil si at verdier mellom 86.3 og 97.5 l/s aldri opptrer.

Gjennomsnittlig avrenning ved Elgtjern målestasjon er 139.9 l/s. Høye vannføringer eller vannføring i intervallet 369-3352 l/s utgjør 0-10 % i kurven. 64-369 l/s anses som fuktige forhold og utgjør 10-40 %. 40-60 % som kalles middelvannføringer er 42-64 l/s. Tørre forhold eller 60-90 % er 15-42 l/s. Lave vannføringer som er 90-100 % er 0-15 l/s.

5.3 Isohydatmetode

5.3.1 Manuell metode

Ved å benytte manuell isohydatmetoden ved bruk av transparent rutenettpapir ble avrenningsverdier beregnet for de to periodene 1930-1960 og 1961-1990. Verdiene er presentert i tabell 5-1. I tabellene finnes også observerte verdier (l/s km^2). Det vil si at de gjennomsnittlige vannføringsverdiene (l/s) ble delt med størrelse til nedbørfeltene (km^2). Endring i % viser hvor stor endring det har vært i den senere perioden 1961-1990.

Tabell 5-1 Spesifikke avrenningsverdier (l/s km²) beregnet manuelt ved bruk av transparent rutenettpapir

	Observerte verdier	1930-1960	1961-1990	Endring i %
Gryta	19.5	16.8	20.3	20.1
Sæternbekken	18.1	14.5	16.8	15.9
Elgtjern	20.7	18.0	21.2	17.8
Fiskum	15.9	17.3	17.6	1.7
Glitrevann		17.3	17.7	2.3

Ved å sammenligne periodene 1930-1960 og 1961-1990 er det tydelig at i den senere perioden er avrenningsverdiene større. Den største endringen viser nedbørfeltet til Gryta som har en endring på 20.1 %. Videre følger nedbørfelt til Elgtjern hvor den spesifikke avrenningen har økt med 17.8 %. Nedbørfeltet til Sæternbekken viser en økning på 15.9 %. Den spesifikke avrenningen i nedbørfeltet til Fiskum har økt minst i forhold til de andre, kun 1.7 %. Den spesifikke avrenningen i nedbørfelt til Glitrevann viser en økning på 2.3 %.

5.3.2 Automatisk metode

Ved å benytte isohydatmetoden ved bruk av digitalt verktøy NVE Atlas ble avrenningsverdier beregnet for to perioder 1930-1960 og 1961-1990. Verdiene er presentert i tabell 5-2. I tabellene finnes også observerte verdier (l/s km²) som er like i tabell 5-1. De ble beregnet for hele datasettet.

Tabell 5-2 Spesifikke avrenningsverdier (l/s km²) beregnet ved bruk av NVE Atlas

	Observerte verdier	1930-1960	1961-1990	Endring i %
Gryta	19.5	17.3	20.5	18.5
Sæternbekken	18.1	15.1	17.1	13.2
Elgtjern	20.7	18.0	21.4	18.9
Fiskum	15.9	16.5	17.0	3
Glitrevann		17.8	17.4	-2.2

De første tre verdiene for den spesifikke avrenningen har omtrent lik økning. Den største endring viser nedbørfeltene til Elgtjern og Gryta som har endring på henholdsvis 18.9 % og 18.5 %. Videre følger nedbørfeltet til Sæternbekken hvor den spesifikke avrenningen har økt med 13.2 %. Den spesifikke avrenningen i nedbørfeltet til Fiskum har igjen økt minst i forhold til de andre, kun 3 %. Den spesifikke avrenningen i nedbørfelt til Glitrevann viser en reduksjon på 2.2 %.

Generelt er den senere perioden 1961-1990 bemerket med økning i spesifikke avrenningsverdier i forhold til den tidligere perioden 1930-1960 med unntak av nedbørfelt til Glitrevann.

5.4 Innfylling av manglende verdier

En vannføringsserie av god kvalitet er en nødvendig og viktig oppgave for å få tilfredsstillende resultater. Å ha et fullstendig datasett er særlig viktig for å identifisere trend. Daglige vannføringsserier for nedbørfeltene til Elgtjern og Sæternbekken er av god nok kvalitet men inneholder hull på fra flere dager til flere år. Manglende verdier i 1987 utgjør ca. 100 % og i 1988 utgjør ca. 85 % for Sæternbekken stasjon. Manglende verdier i 1995 utgjør ca. 80 % for Elgtjern stasjon.

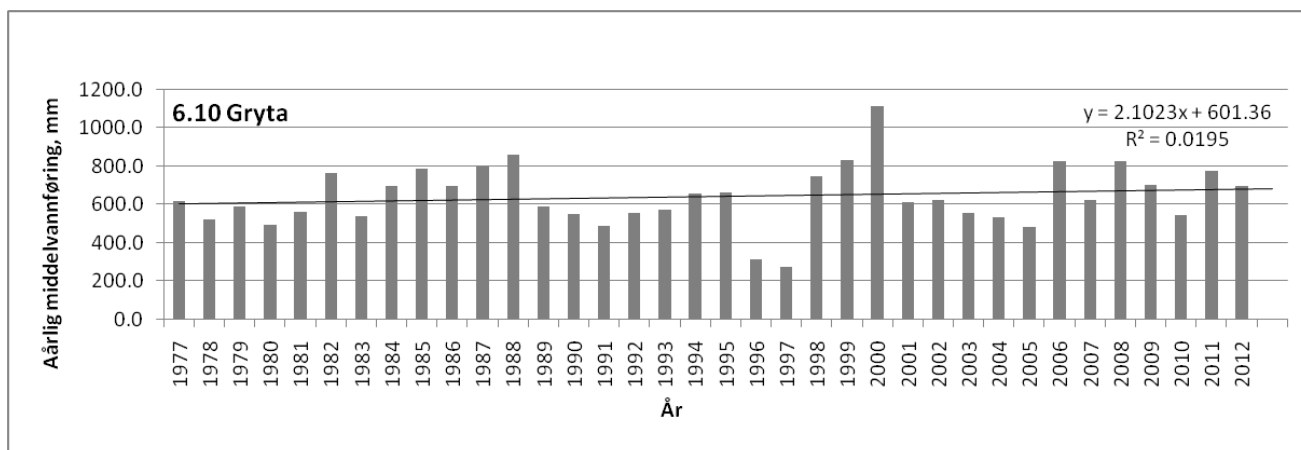
Ved bruk av enkel lineær regresjon ble manglende verdier til den spesifikke avrenningen estimert. Verdier for den spesifikke avrenningen for Gryta som forklaringsvariabelen ble valgt. Gryta ble valgt som forklaringsvariabelen fordi datasettet til Gryta er fullstendig, og størrelsen til nedbørfeltet ligner mest på størrelsen til nedbørfeltene til Elgtjern og Sæternbekken. Responsvariablene ble Elgtjern og Sæternbekken. Resultatet er presentert i tabell 5-3.

Tabell 5-3 Manglende verdier funnet for Elgtjern og Sæternbekken

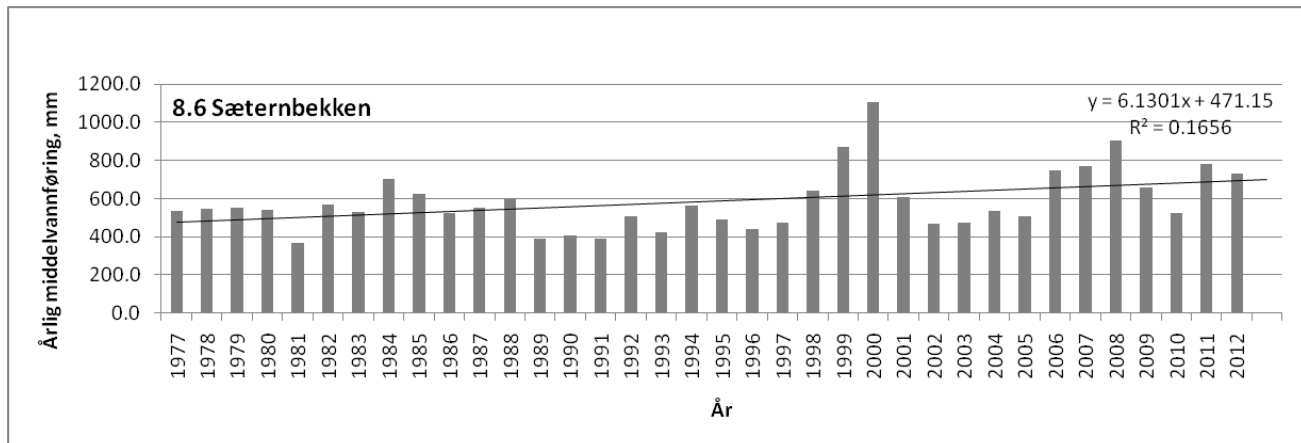
	Elgtjern	Sæternbekken
Regresjonslikningen	$y=0.6671x+48.179$	$y=0.6761x+18.147$
år 1987		137.9 (l/s) 553.6 (mm)
år 1988		147.7 (l/s) 598.7 (mm)
år 1995	146.8 (l/s) 670.9 (mm)	

5.5 Trendberegning

Figurer presenterer plott av de årlige middelvannføringene. Det ble valgt å plote årlig middelvannføring fra år 1977 fordi dataserien til Fiskum starter fra år 1977. Dataserien til Gryta starter fra 1968, til Sæternbekken starter fra 1972, til Elgtjern starter fra 1976, men alle seriene plottes fra 1977 for å beregne trend for den samme perioden.

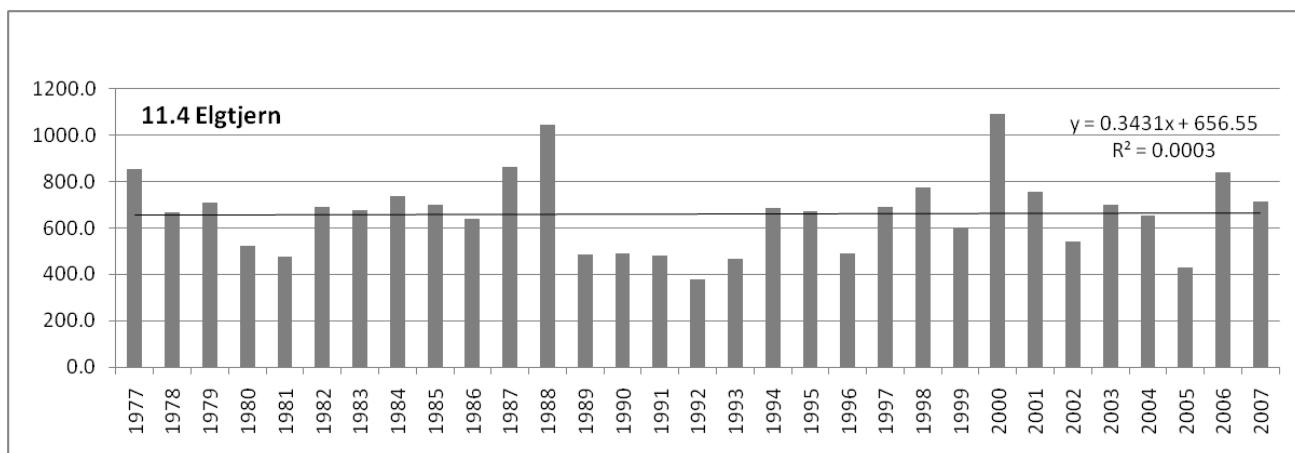


Figur 5-5 Årlig middelvannføring for 6.10 Gryta målestasjon, periode 1977-2012

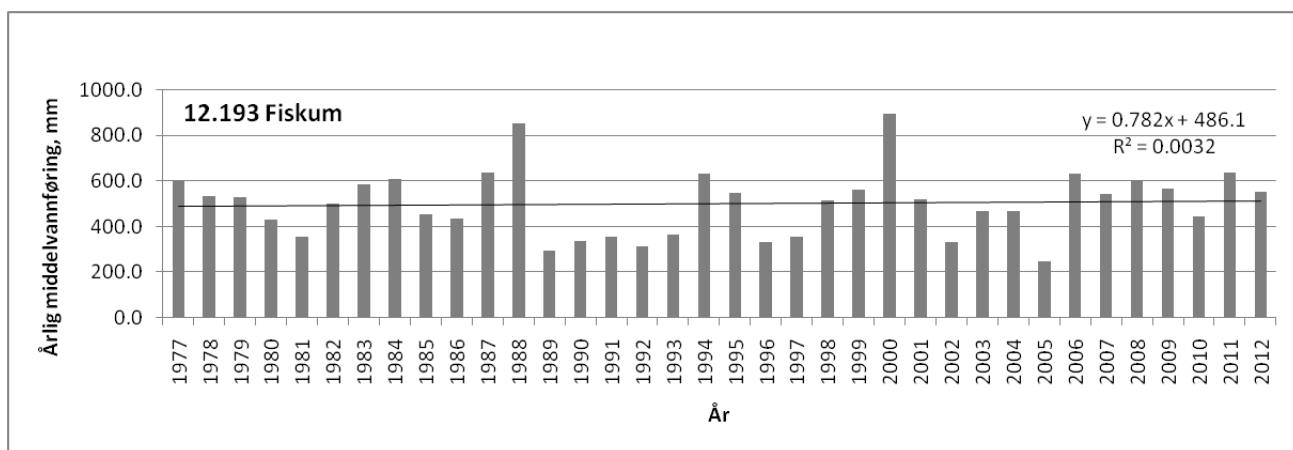


Figur 5-6 Årlig middelvannføring for 8.6 Sæternbekken målestasjon, periode 1977-2012

Elgtjern målestasjon har dataserien for 1976 – 2007. Vannstand ved Elgtjern måles kontinuerlig, men en tidsserie for periode 2007-2012 ble ikke kvalitetssikret. Grunnet er uvist.



Figur 5-7 Årlig middelvannføring for 11.4 Elgtjern målestasjon, periode 1977-2007



Figur 5-8 Årlig middelvannføring for 12.193 Fiskum målestasjon, periode 1977-2012

Resultater for t-test presentert i tabell 5-4. Nullhypotese er det er ingen trend i en dataserie.

Alternativ hypotese H1 er det er trend i en dataserie.

Tabell 5-4 Resultater for t-test, signifikansnivå 5%

	Gryta	Sæternbekken	Elgtjern	Fiskum
p-verdi	0.025	0.026	0.916	0.413
α	0.05	0.05	0.05	0.05
Trend	Ja	Ja	Nei	Nei

p-verdier for Gryta og Sæternbekken er mindre enn α (0.05), derfor H_0 som sier at det ikke er trend i dataene forkastes. p-verdier for Elgtjern og Fiskum er større enn α (0.05). Det er ikke grunnlag for å forkaste H_0 når p-verdi $> \alpha$.

6 Diskusjon

To metoder ble benyttet å estimere avrenning i umålte nedbørfelt til Glitrevann. En "double-mass" kurve til Elgtjern gav en svært nyttig informasjon om konsistensen av avrenningsdata. Avrenningsdataene til Elgtjern er homogene og det finnes ingen tegn på brud i dataseriene. Serien kan derfor anses som konsistent eller homogen. Det var flere svinginger i "residual-mass" kurven. Residualer minsker i periodene 1982-1984 og 1991-1994, øker i periodene 1996-1998 og 2002-2005, men generelt varierer uten trend, det vil si at det ikke har vært noen stor endring i forholdet mellom nedbør og avrenning i perioden 1977-2007. Økning i "residual mass" kurve indikerer perioder med mer nedbør og dermed mer avrenning enn gjennomsnitt. Nedgang indikerer perioder med mindre nedbør og dermed mindre avrenning enn gjennomsnitt. Serien anses som homogen, fordi differansen er tilfeldig spredt langs tidsaksen. De utvalgte representative nedbørsfeltene er representative for Glitre nedbørsfelt, derfor kan disse dataene med trygghet brukes for videre beregninger og analyser.

Varighetskurve gav en enkel visuell sammenligning av variabilitet til avrenning for flere forskjellige avrenninger. Plotting av varighetskurver i en semilogaritmisk graf hjalp med å se hvor like nedbørfeltene er i responser. Varighetskurvene har veldig lik form og oppfører seg likt under høye og lave vannføringer, det vil si at responser til nedbørfeltene er like. Varighetskurven til Elgtjern viser et brudd i serien. Det tyder på feil i vannføringskurven til Elgtjern.

Avrenningsverdier ble beregnet for to perioder 1930-1960 og 1961-1990 ved bruk av to forskjellige metoder. Prosentvis endring i periodene 1930-1960 og 1961-1990 presenterte større positiv økning for de små nedbørfeltene Elgtjern, Sæternbekken og Gryta i motsetning til de to store nedbørfeltene Glitre og Fiskum. Spesifikke avrenningen for Gryta, Elgtjern og Sæternbekken hadde omtrent lik økning ved bruk av den manuelle metoden og automatiske metoden henholdsvis 20.1 % og 18.5 % (Gryta), 17.8 % og 18.5 % (Elgtjern), og 15.9 % og 13.2 % (Sæternbekken). Den spesifikke avrenningen i nedbørfelt til Fiskum har økt minst i forhold til de små nedbørfeltene, kun 1.7 % (manuell) og 3 % (automatisk). Den spesifikke avrenningen i nedbørfelt til Glitrevann har økt 2.3% ved bruk av den manuelle metoden, mens har sunket 2.2% ved bruk av den automatiske metoden.

Det er viktig å se på hva som påvirker slike endringer i spesifikk avrenning i små nedbørfelt. Det kan antas at klima eller metodene som ble brukt å beregne den spesifikke avrenningen kan ha påvirkning til endringene. Respons til et nedbørfelt er sensitiv til romlig variasjon av nedbør over nedbørfelt. Plassering av nedbørsmålere innenfor nedbørfelt er altså viktig. Nedbørsmålere finnes i hvert nedbørfelt. Men trend i avrenning ble oppdaget kun i to små nedbørfelt til Gryta og Sæternbekken. Det små nedbørfeltet til Elgtjern viste ingen trend i serien. Således kan konkluderes med at klima ikke antakelig hadde påvirkning til endringene i spesifikke avrenningen. Det overensstemmer med resultatene i NVE oppdragsrapport 1-2006 "Climate change impacts on streamflow in Norway". De forventede endringer i gjennomsnittlig årlig vannføring er moderate, men endringene i sesonglige vassføringer er langt større; årlige variasjoner vil sannsynligvis være så høye som under dagens klima (Roald et al, 2006).

At små nedbørfelt har større økning i spesifikke avrenningen enn store nedbørfelt kan skyldes romlig oppløsning. Stor-skala modeller og data brukes noen ganger for små-skala estimering som omfatter ekstrapolering eller overføring av informasjon fra skalaer til skalaer (Bloschl og Sivapalan, 1995). Slik øverføringen av informasjon kalles skalering og problemene knyttet til skalering (Bloschl og Sivapalan, 1995). Integrasjonen av avløpsdynamikk til nedbørfelt i modeller over den store spennvidden i nedbørfeltstørrelser er hoved årsaken til skalaproblemene i hydrologien (Bloschl og Sivalplan, 1995). Et annet problem er store inhomogenitetene i de hydrologiske systemene og manglende mulighet for å observere struktur og tilstand i mark- og grunnvannsonen (Sælthun, 1996). Detaljerte målinger og analyser er vanligvis vanskeligere å få tak i store nedbørfelt. Mangelen av data av god kvalitet er begrensninger til hydrologiske modeller. Mange av hydrologiske modeller baserer seg data og observasjoner innhentet fra små nedbørfelt. Små nedbørfelt gir mer detaljerte opplysninger som gjør enklere å forstå prosesser og deres interaksjoner. Det kan føre til finere isohydatoppløsning på små nedbørfelt. Beven (1996) hevdet at "Essentially hydrological science suffers from very severe data constraints. What happens at the point scale is reasonably well understood (at least well enough to understand that our 'physically-based' descriptions are inadequate due to the effects of both surface and subsurface preferential flows), but data and ideas are lacking to know how to extend that knowledge to larger scales".

Avrenningskartet for periode 1930-1960 ble laget ved bruk av enkle metoder som baserte seg på subjektive vurderinger og kunnskap om nedbørfelt. I 1970 ble feltet til Glitrevann vurdert til et normalt spesifikt avløp på 19 l/s km^2 . Avrenningskartet for periode 1961-1990 ble laget ved bruk av avanserte metoder. Spesifikk avrenning til nedbørfelt til Glitrevann estimert ved bruk av manuell metode som gav 17.7 l/s km^2 og ved bruk av automatisk metode som gav 17.4 l/s km^2 . Selv om metodene han benyttet å lage isohydatkart var subjektive, er beregnede verdier for den spesifikke avrenningen for Glitre nedbørfelt fremdeles relativt nær verdiene for periode 1961-1990 og observerte verdiene. Det antes at nye avanserte metoder er mer nøyaktige, derfor verdier $17.4 - 17.7 \text{ l/s km}^2$ anses som nøyaktige. 19 l/s km^2 er noe høyere enn den nyere verdien $\sim 17.5 \text{ l/s km}^2$, men verdien 19 l/s km^2 kan anses som god nok estimat i 1970.

7 Konklusjoner

En "double-mass" kurve og residual kurve til Elgtjern indikerte at serien til Elgtjern anses som homogen og dataene kan brukes for videre beregninger og analyser. Varighetskurvene til nedbørfeltene indikerte at responser til nedbørfeltene er like. Men varighetskurven til Elgtjern viste et brudd i serien. Bruddet kan være forårsaket av feil i vannføringskurven til Elgtjern. Derfor bør man vurdere å lage en ny vannføringskurve til Elgtjern.

I oppgaven ble det funnet at små nedbørfelt gav større verdier til spesifikke avrenningen enn store nedbørfelt. Dette kan skyldes med en finere isohydatoppløsning på små nedbørfelt. Dette eksempelet dekker kun fire representative nedbørfeltene i et område i Østlandet, tre fylker Buskerud, Akershus og Oslo. Det kan være hensiktmessig å utføre analyser i andre områder i forskjellige deler i Norge.

I 1970 ble spesifikke avrenning estimert på 19 l/s km^2 som er noe høyere enn den nyere verdien $\sim 17.5 \text{ l/s km}^2$, men fremdeles kan anses som god nok estimat i 1970.

Referanser

- Arnell, N. W., Krasovskaia, I. & Gottschalk, L. (1993). River flow regimes in Europe. In Gustard, A. (1993). *Flow Regimes from International Experimental and Network Data (FRIEND)*, vol. 1, 112–121, Institute of Hydrology, Wallingford, UK UNESCO, 587 s
- Astrup, M. (2000). Homogenitetstest av hydrologiske data, Rapport 7-2000, NVE, Oslo.
- Beldring, S., Roald, L. A., Voksø, A. (2002). *Avrenningskart for Norge, Årsmiddelverdier for avrenning 1961-1990*, Rapport nr 2, Norges vassdrags- og energidirektorat. 51 s
- Beldring, S., Arheimer, B., Jónsdóttir, J. F. Vehviläinen, B. (2005). Experience From Predictions in Ungauged Basins (PUB) in the Nordic Countries, Report no. 1, Norwegian Water Resources and Energy Directorate. 24 s
- Beldring, S., Engen-Skaugen, T., Førland, E., Roald, L. A. (2008). Climate change impacts on hydrological processes in Norway based on two methods for transferring regional climate model results to meteorological station sites. *Tellus* 60A, 439–450, doi: 10.1111/j.1600-0870.2008.00306.x
- Bergström, S. (1976). *Development and application of a conceptual runoff model for Scandinavian catchments*. SMHI Reports RHO, No. 7, Norrköping.
- Beven, K. 1996. The limits of splitting: Hydrology. *The Science of the Total Environment* 183: 89-97.
- Beven, K. (1996). Equifinality and uncertainty in geomorphological modelling. (Chapter 12) 25 s., In Thorn, C. E., Rhoads, B. L. (1996). *The Scientific Nature of Geomorphology: Proceedings of the 27th Binghamton Symposium in Geomorphology*, Held 27-29 September, 1996 . ISBN: 9780471968115, John Wiley & Sons Inc.
- Bishop, G. D., Church, M. R. (1992). Automated approaches for regional runoff mapping in the northeastern United States. *J. Hydrol.*, 138, 361-383.
- Bishop, G. D., Church, M. R. (1995). Mapping long-term regional runoff in the eastern United States using automated approaches. *J. Hydrol.*, 169, 189-207.
- Bishop, G.D. og Church, M. R. (1998). Hydrologic Mapping. 371-374 s In R.W. Herschy, R. W. og Fairbridge, R. W., (red.), *Encyclopedia of Hydrology and Water Resources, Encyclopedia of Earth Sciences Series*. Kluwer Academic Publishers, Boston.
- Bloschl, G. og Sivapalan, M. (1995). Scale Issues in Hydrological Modelling: A Review. *Hydrological Processes*, VOL. 9, 251-290
- Blöschl, G., Sivapalan, M., Thorsten, W., Viglione, A., Savenije, H. (2013). *Runoff prediction in ungauged basins: synthesis across processes, places and scales*, Cambridge University Press, New York, ISBN: 9781107028180.
- Burrough, P. A. og McDonnel, R. (1998). *Principles of Geographical Information Systems*, Oxford University Press. 352 s
- Buttafuoco, G., Caloiero, T., and Coscarelli, R. (2010). Spatial uncertainty assessment in modelling reference evapotranspiration at regional scale, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 14, 2319-2327, doi:10.5194/hess-14-2319-2010.
- Cheng, L., Yaeger, M., Viglione, A., Coopersmith, E., Ye, S., Sivapalan, M. (2012). Exploring the physical controls of regional patterns of flow duration curves – Part 1: Insights from statistical analyses, *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 16, 4435-4446, doi: 10.5194/hess-16-4435-2012.
- Chow, V.T., et al. (1988). *Applied Hydrology*. McGraw-Hill Series in Water Resources.

- Cole, R. A. J., Johnston, H. T., Robinson, D. J. (2003). The use of flow duration curves as a data quality tool, *Hydrological Sciences Journal*, 48:6, 939-951, DOI: 10.1623/hysj.48.6.939.51419
- Deb, S. K., Shukla, M. K. (2011). An Overview of Some Soil Hydrological Watershed Models (Chapter 3) In Shukla, M. K. (red.) *Soil Hydrology, Land Use and Agriculture: Measurement and Modelling*, ISBN-13: 9781845937973 Department of Earth Sciences Hydrology
- Dingman, S. L. (2002). *Physical Hydrology*. Second Edition. Prentice Hall, NJ.
- Domokos, M. og Sass, J. (1990). Long-term water balances for subcatchments and partial national areas in the Danube basin. *J. Hydrol.*, 112, 267-292.
- Dooge, J. (1973). *Linear Theory of Hydrologic Systems*. Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, 327 s.
- Drammen Kommune 2012. Bystrategi 2013-2036 Høringsutkast til bystrategi for Drammen 2013 - 2036 Muligheter og utfordringer <http://www.drammen.kommune.no/no/Budsjettportal-Drammen-kommune/Horingsutkast-til-bystrategi-for-Drammen-2013---2036/Del-1/Muligheter-og-utfordringer/> (oppsøkt: 20.10.2013)
- Dulal, K., Takeuchi, K. og Ishidaira, H. (2006). *A Framework for the Analysis of Uncertainty in the Measurement of Precipitation Data: a Case Study for Nepal*, International Commission of Agricultural Engineering, URL: <http://hdl.handle.net/1813/10579>
- Dunne, T. og Leopold, L. B. (1978). *Water in Environmental Planning*. Freeman, New York.
- Fekete, B. M., Vorosmarty, C. J., Grabs, W. (1999). *Global, Composite Runoff Fields Based on Observed River Discharge and Simulated Water Balances*, Tech. Rep. 22, Global Runoff Data Cent., Koblenz, Germany. 109 s
- Fekete, B. M., Vörösmarty, C. J., Grabs, W. (2000). *Global Composite Runoff Fields Based on Observed River Discharge and Simulated Water Balances*. Complex Systems Research Center, University of New Hampshire. UNH-GRDC Composite Runoff Fields v1.0.
- Foyster, A. M. (1975). Mapping runoff by the grid square technique, *Nord. Hydrol.*, 6, 207-221.
- Glitrevannverket 2013. URL: <http://www.glitre.no/index.php?id=44> (oppsøkt: 15.05.2013)
- Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for natural resources evaluation*, Oxford University Press, New York.
- Gordon, McMahon, Finlayson, Gippel, Nathan. (2004). *Stream Hydrology: An Introduction for Ecologists* 2nd edition. John Wiley & Sons
- Gottschalk, L. og Krasovskaia, I. (1998). *Development of Grid-related Estimates of Hydrological Variables, Report of the WCP-Water Project B.3*, WCP/WCA, Geneva, Switzerland
- Gottschalk, L., Krasovskaia, I., Leblois, E., Sauquet, E. (2006). Mapping mean and variance of runoff in a river basin. *Hydrol. Earth Syst. Sci.*, 10, 469-484.
- Haan, C. T. (1977). *Statistical Methods in Hydrology*, Iowa State University Press, Ames, Iowa, 378 s.
- Hagen, I. (1967). Planning of hydrological observations in catchment areas with partially glacier covered tracts. Publisert: Oslo, 1967 In: Symposium on hydrological networks, Quebec. Vol 2 : Design of hydrological networks. International Association Hydrological Sciences. IASH publication, 68. Gentbrugge: IAHS Press, 1965.
- Hurum, J. H. og Frøyland, M. (2004). *Nedre Eikers underjordiske skatter: stein til nytte og glede*. Mjøndalen: Nedre Eiker kommune. ISBN:82-994647-1-4, 335 s.
- Korzun, V. I. (1978). *World Water Balance and Water Resources of the Earth*, Studies and Reports in Hydrology, Vol. 25 UNESCO, 587 pp.

- Kristensen, S. E. (1996). Updating mean annual inflow to the Norwegian hydropower system by using GIS. Norwegian Water Resources and Energy Administration (NVE). In *HydroGIS 96: Application of Geographic Information Systems in Hydrology and Water Resources Management* (Proceedings of the Vienna Conference, April 1996). IAHS Publ. no. 235.
- Krug, W. R., Gebert, W. A., Graczyk, D. J. et al., (1990). *Map of Mean Annual Runoff for the Northeastern, Southeastern and Mid-Atlantic United States, Water Years 1951-1980*, US Geological Survey Water Resources Investigation Rep. 88-4904, US Geological Survey, Madison, WI, 11 pp.
- Langbein, W.B. et al. (1949). *Annual Runoff in the United States*, US Geological Survey Circular 52, Dept. of the Interior, Washington, DC, 14 s.
- Langbein, W. B. og Iseri, K. T. (1995). *General Introduction and Hydrologic Definitions. Manual of Hydrology: Part 1. General Surface-Water Techniques*. Geological Survey Water-Supply Paper 1541-A. Methods and practices of the Geological Survey. HTML Version 1995 (oppsøkt: 24.02.2014)
- Liebscher, H. (1972). A method for runoff-mapping from precipitation and air temperature data, in *World water balance*, Proc. of the Reading Symp., Reading, 15-23 July 1970, Vol. 1. UNESCO/IASH/WMO, Gentbrugge, Belgium, 115-121.
- Lienert C., Weingartner R., Hurni L. (2009). Real-Time Visualization in Operational Hydrology through Web-based Cartography, *Cartography and Geographic Information Science* 36(1):45-58, doi:10.1559/152304009787340188
- Lindström, G. (1997). A simple automatic calibration routine for the HBV model. *Nordic Hydrology* 28, s. 153-168.
- Lund, T. (1982). En rik flora. In Lindaas et al. (1982). Finnemarka, Volum 1. Lyche. ISBN 8299084318, 9788299084314
- Maunder, W. J. (1995). *Dictionary of Global Climate Change*. Chapman & Hall. 257 s.
- McKay, G. A. og Thomas, M. K. (1971). Mapping of climatological elements. *Canadian Cartographer*, 8(1), 27-40.
- McKay, G. A. (1976). Hydrological Mapping, In Rodda, J. C. (red.). *Facets of Hydrology*, London: John Wiley and Sons, 1-36.
- McMahon, T. A., Peel, M. C., Pegram, G. G. S., Smith, I. N. (2011). A Simple Methodology for Estimating Mean and Variability of Annual Runoff and Reservoir Yield under Present and Future Climates, *J. Hydrometeorol.*, 12, 135–146, doi:10.1175/2010JHM1288.1
- Mimikou, M. og Kaemaki, S. (1985). Regionalization of flow duration characteristics, *J. Hydrol.*, 82, 77–91, doi: 10.1016/0022-1694(85)90048-4.
- Murthy, C. S. (2002). *Water Resources Engineering: Principles and Practice*, New Age International (P) Limited, 314 s.
- Nasjonal Folkehelseinstitutt (2004). Vannforsyningens ABC, Kapittel A, Innledning. URL: <http://www.fhi.no/tema/drikkevann/vannforsyningens-abc> (oppsøkt: 15.02.2014)
- Nilsen, O. (2001). *Berggrunnen i Nittedal - Et Geologisk Mangfold*. Institutt for geofag, Universitetet i Oslo
- Norges vassdrags- og energidirektorat (1987). *Avrenningskart over Norge 1930-1960*, Blad 1-8. Norges vassdrags- og energiverk, Vassdragsdirektoratet, Hydrologisk avdeling
- Norges vassdrags- og energidirektorat 2011. The HBV model. URL: <http://www.nve.no/en/Water/Hydrology/Analyses-and-models/The-HBV-model/> (oppsøkt: 11.01.2014)

- Otnes, J. (1971). Det Hydrologiske Kretsløp. In: Otnes, J., Ræstad, E. (1971). *Hydrologi i Praksis*, Ingeniørforlaget, Oslo, Norge. 343 s.
- Pettersson, L.E. (red.) (2003). *Norges hydrologiske stasjonsnett* Rapport nr 7. NVE. 120 s.
- Pettersson, L.E. (2004). *Aktive vannføringsstasjoner i Norge*. NVE Rapport 16-2004
- Pettersson, L.E. og Astrup, M. (2007). *Vannføringsstasjoner på Østlandet og Sørlandet*. NVE Oppdragsrapport A 2-2007.
- Ponce, V. M. (1989). *Engineering Hydrology, Principles and Practice*. Prentice-Hall, Englewood Cliffs, NJ. 640 s.
- Raghunath, H. M. (2006). *Hydrology: Principles, analysis and design* (Rev. 2nd ed.). New Delhi: New Age International (P) Ltd., Publishers. ISBN 8122418252, 9788122418255. 463 s
- Rees, G., Marsh, Roald, L., Demuth, S., van Lanen, H. A. J., Kasperek, L. (2004). Hydrological data (chapter 4). In Tallaksen, L.M. og van Lanen, H. A. J. (red.) (2004). *Hydrological Drought – Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*. Developments in Water Sciences 48. Elsevier B.V., the Netherlands, 580 s.
- Roald, R. A., Beldring, S., Skaugen, T. E., Førland, E. J., Benestad, R. (2006). *Climate change impacts on streamflow in Norway*. Consultancy report A no 1-2006. Norges vassdrags- og energidirektorat
- Robinson, A. H. (1971). The genealogy of the isopleth, *Cartographic J.*, 8, 49-53.
- Sarangi, A., Cox, C., Madramootoo, C. A. (2005). Geostatistical Methods for Prediction of Spatial Variability of Rainfall in a Mountainous Region, *American Society of Agricultural Engineers* ISSN 0001-2351 Transactions of the ASAE, 48(3) 943-954
- Sauquet, E., Gottschalk, L. og Leblois, E. (2000). Mapping average annual runoff: a hierarchical approach applying a stochastic interpolation scheme. *Hydrological Sciences Journal*, 45 (6), 799-815
- Searcy, J. K. (1959). Flow-duration curves, Manual of hydrology—Part 2. Low-flow techniques: U.S. Geological Survey Water-Supply Paper 1542-A, 33 s.
- Searcy, J. K. og Hardison, C.H. (1960). Double-Mass Curves, Manual of Hydrology: Part 1. General Surface-Water Techniques. *Geological Survey Water-Supply Paper* 1541-B, U.S.Dept.of Interior, Washington, D.C.
- Seibert, J. (2005). *HBV light version 2 User's Manual*. Stockholm University Department of Physical Geography and Quaternary Geology
- Shaw, E., Beven, K. J., Chappell, N. A., Lamb, R. (2011). *Hydrology in Practice*, Fourth Edition. Spon Press; London
- Singh, V.P. (red.) (1995). *Computer models of watershed hydrology*. Water resources publication, Littleton, ISBN: 0-918334-91-8.
- Singh, V. P. og Frevert, D. K. (red.) (2002a). *Mathematical models of large watershed hydrology*. Water Res. Publ., Chelsea, Michigan, 891 s
- Singh, V. P. og Frevert, D. K. (red.), (2002b). *Mathematical models of small watershed hydrology and applications*. Water Res. Publ., Chelsea, Michigan, 950 s.
- Sivapalan, M., Takeuchi, K., Franks, S. W., Gupta, V. K., Karambiri, H., Laxmi, V., et al. (2003). IAHS decade on predictions in ungauged basins (PUB), 2003-2012: Shaping an exciting future for the hydrological sciences, *Hydrolog. Sci. J.* 48 (6) 857-880.
- Skaugen, T. (red.) (2010). *Norges hydrologiske stasjonsnett – analyse og strategi* Rapport nr 7. NVE. 56 s.

- Slapgård, J., Stensby, K. E., Fladen, B., Holmqvist, E., Bachke, D. (2010). Veileder nr. 1/2010 *Veileder i planlegging, bygging og drift av små kraftverk* Ny utgave, NVE.
- Solbakken, T. (1982). Geologi og bergverk. In Lindaas et al. (1982). *Finnemarka*, Volum 1. Lyche. ISBN 8299084318, 9788299084314, 238 s.
- Solomon, S. I., Denouilliez, J. P., Chant, E. J. et al. (1968). The use of a square grid system for computer estimation of precipitation, temperature, and runoff, *Water Resour. Res.*, 4, 919-929.
- Solomon, S., Qin, D., Manning, M., Chen, Z., Marquis, M., Averyt, K. B., Tignor, M., Miller, H. L. (red.) (2007). *Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA
- Statistisk Sentralbyrå 2013. Statistikkbanken kildetabell 01222 URL: <http://ssb.no/132111/folkemengde-og-kvartalsvise-befolkningsendringer.heile-landet-fylke-og-kommunar> (oppsøkt: 01.03.2014)
- Subramanya, K. (1994). *Engineering Hydrology*. Tata McGraw-Hill Education, Hydrology. 392 s.
- Sælthun, N.R. (1995). "Nordic" HBV modell, NVE/UiO
- Sælthun, N.R. (1996). *Hydrologiske modeller*. Institutt for geofysikk, Universitetet i Oslo, V 96
- Sælthun, N. R., Holmgren, K., Tveito, O. E., Roald, L. A. (1996). Development of methodology for production of runoff maps - a joint project by NVE, UiO and DNMI, *Nordic Hydrological Conference*, Akureyri, 1996.
- Tallaksen, L.M. og van Lanen, H.A.J. (red.) (2004). *Hydrological Drought. Processes and Estimation Methods for Streamflow and Groundwater*. Developments in Water Science, 48, Elsevier Science B.V., 579 s.
- Thorntwaite, C. W., Mathers, J. R. og Carter, D.B. (1958). Water Balance Maps of Eastern North America, *Resources for the Future*, Washington, DC, 47 s.
- Tollan A. (2002). *Vannressurser*. Oslo: Universitetsforlaget. 219 s.
- Viglione, A., Parajka, J., Rogger, M., Salinas, J. L., Laaha, G., Sivapalan, M., Blöschl, G. (2013). Comparative assessment of predictions in ungauged basins - Part 3: Runoff signatures in Austria, *Hydrology and Earth System Sciences*, 17, 2263-2279, doi:10.5194/hess-17-2263-2013.
- Vogel, R. M., Fennessey, N. M. (1994). Flow-duration curves. In New interpretation and confidence intervals, *J. Water Resour. Pl.-ASCE*, 120, 485-504, doi: 10.1061/(ASCE)0733-9496(1994)120:4(485).
- Væringstad, T. og Hisdal, H. (2005). *Estimering av alminnelig lavvannføring i umålte felt*, NVE rapport Miljøbasert vannføring, Nr. 6 2005, NVE, Oslo, Norge.
- Wigbout, M.(1973). Limitations in the use of double-mass curves. *Journal of Hydrology*, 12: 132-138
- Wilson, D., Hisdal, H., Lawrence, D. (2010). Has streamflow changed in the Nordic countries? – Recent trends and comparisons to hydrological projections. *Journal of Hydrology*, 394, 334-346, doi:10.1016/j.jhydrol.2010.09.010
- World Meteorological Organization (1972). *Casebook on hydrological network design practice*. WMO No. 324.
- World Meteorological Organization (1988). *Technical Regulations Volume I General Meteorological Standards and Recommended Practices* 1988 edition. WMO - No. 49
- World Meteorological Organization (1994). *Guide to Hydrological Practices. Data Acquisition and Processing, Analysis, Forecasting and Other Applications*. WMO-No. 168. Fifth edition, Geneva, 729 s.
- World Meteorological Organization (2008). *The Guide to Hydrological Practices: I. Hydrology – From Measurement to Hydrological Information*. WMO No. 168

World Meteorological Organization (2007). *The Role of Climatological Normals in a Changing Climate*, WCDMP-No. 61, WMO-TD No. 1377

World Meteorological Organization (2010). *Manual on Stream Gauging. Volume II – Computation of Discharge*. WMO-No. 1044

Xu, C-Y. (2002). *Hydrologic Models* (Lärobok i Avrinningsmodeller). Uppsala University

Xu, C-Y. (2010). *Introduction to Hydrological Models*. Department of Geoscience, University of Oslo

Yadav, M., Wagener, T., Gupta, H. (2007). Regionalization of constraints on the expected watershed response behavior for improved predictions in ungauged basins, *Adv. Water Resour.* 30 1756-1774.

Vedlegg 1



DET KONGELIGE DEPARTEMENT FOR INDUSTRI OG HÅNDVERK

KONTOR: AKERSGT. 42 - TELEFON 41 78 00

POSTADRESSE: OSLO-DEP, OSLO 1

Sivilingeniør R. Brusletto A/S
Lilleakerv. 31

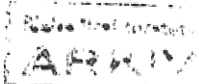
OSLO 2

Sendes med ~~vedlegg~~
uten følgeskriv

Departementet
Industri og håndverk
Vassdragsvesen

Vassdrags- og el. v. v.

*Sosialdepartet,
Helse- og k. v. t. v.
uf. 21.8.69, jno. 15149/69
H.S. til Norge
Vassdrags- og el. v. v.*



Deres ref. 483124 - 5 SEP 69 Vår ref. (bes oppgitt ved svar)

Id 1888/69 IDV LS/itj

Dato

3.9.69

INTERKOMMUNAL VANNFORSYNING FRA GLITREVANN TIL KOMMUNENE I DRAMMENSREGIONEN. EKSPROPRIASJONSTILLATELSE.

- I I medhold av lov av 15. mars 1940 om vassdragene §17 og bemyndigelse gitt ved kgl.res. av 28. juni 1946 tillates Drammen, Lier, Nedre Eiker og Røyken kommuner:
- å ekspropriere det som trengs av vann, grunn og rettigheter for anlegg av vannverk med inntak fra Glitrevann, herunder rett til å regulere vannet med 11 m senking mellom kote ca. 360,5 og kote ca. 349,5. Det vises til søknad av 31. januar 1969 med bilag fra sivilingeniør R. Brusletto A/S - Østlandskonsult A/S.
 - å overføre vannføringen fra et felt på ca. 9,6 km² og et felt på ca. 7,4 km² fra Rotuas nedbørsfelt til Glitrevann, jfr. søknad av 31. januar 1969.
 - å anlegge en pumpestasjon ved Svangstrand for pumping av tilskuddsvann fra Holsfjorden til Gåsebekken for å sikre behovet for jordbruksvanning og for å sikre tilstrekkelig vann for fiskens oppgang i Lierelva, jfr. brev av 30. juni 1969 fra sivilingeniør Brusletto A/S - Østlandskonsult A/S. Dokumentene
- // vedlegges sammenheftet og forsynt med departementets påtegning av i dag.

Tillatelsen gis på følgende vilkår:

- Vannforsyningsanleggets eier plikter ved planleggingen og utførelsen av anlegget i den utstrekning det kan gjøres uten urimelige utgifter og ulemper å sørge for at anlegget virker minst mulig skjæmmende i terrenget. Plan for den landskapsmessige utforming av anleggets deler skal forelegges Kontoret for landskapspleie og naturvern, Norges vassdrags- og elektrisitetsvesen, til godkjenning. Anleggets eier plikter å foreta forsvarlig opprydding av anleggsområdene. Oppryddingen må være ferdig senest 2 år etter at anlegget er satt i drift.

Anleggets eier plikter å skaffe seg varig råderett over tipper og andre områder som er nødvendig for gjennomføring av pålegg gitt i henhold til denne post. Overholdelse av bestemmelsene i dette ledd undergis offentlig tilsyn. Utgiftene ved dette utredes av anleggets eier.
Om nærværende bestemmelse gis vedkommende ingeniører eller arbeidsledere fornøden meddelelse.

2. Hvor anlegget berører offentlig veg skal arbeidet utføres etter bestemmelser som fastsettes av Vegvesenet.
3. Erstatning for skade og ulempe under senere vedlikeholdsarbeider fastsettes i mangel av minnelig overenskomst for hver gang ved rettslig skjønn på vannverkets bekostning.
4. Hvis Modum kommune eller Østre Åmot Vannverk senere ønsker å utvide sine vannverk ved overføring av vann henholdsvis fra Langvatn og Flagervatn eller fra Store og Lille Vindsjø skal dette kunne skje uten hinder fra det interkommunale vannverk.
5. For å sikre tilstrekkelig vannføring i Lierelva, forplikter vannverket seg til: å holde en vannføring slik at summen av vannføringen i de to elvegrener ved Åmot minst er 600 l/s i tiden 15.5-15.9.
6. Til støtte for ferskvannsfisket fastsettes følgende:
 1. Anleggets eier plikter årlig å sette ut yngel og/eller smolt (utvandringsferdig lakseyngel) samt yngel og/eller settefisk av sjøaure i et kvantum som til enhver tid blir å bestemme av Landbruksdepartementet. Denne plikt gjelder også for yngel og/eller settefisk av innlandsaure.
 2. Anleggets eier plikter å bekoste fiskeribiologiske undersøkelser som til enhver tid blir å bestemme av Landbruksdepartementet.
 3. Anleggets eier plikter å påse at minstevassføringen ved Drammen og Omegn Fiskeadministrasjons settefiskanlegg ved Glitra ikke understiger 200 l/sek.
7. Vanninntaket skal legges på minst 30 m under laveste regulerte vannstand. Råvannet skal klores etter nærmere bestemmelse av helsemyndighetene.
8. Før vannforsyningsanlegget settes i drift skal kloakkutslipp fra Lierbyen og Lier sykehus være ført i avskjærende kloakk til sjøen.
9. Tapping under kote ca. 353,5 må bare finne sted i tidsrummet 1. november - 1. mai. Etter 1. mai skal vannstanden snarest mulig bringes opp til kote 353,5.
10. Allerede opparbeidede tur- og skiløyper som måtte bli berørt av anlegget skal anleggets eier istandsette, eventuelt omlegge i samråd med de interesserte.

Når det gjelder spørsmålet vedrørende felles halmlutingsanlegg

ved Grøtte i Lier, forbeholder departementet seg senere å stille vilkår så snart man har fått dette spørsmål nærmere utredet.

II I medhold av Vassdragslovens §18 fastsettes følgende servitutter for å sikre vannet mot forurensing:

1. Alternativ A

Ny bebyggelse i en avstand av 100 meter fra Glitrevann og 50 meter fra tilløpsvassdrag er forbudt. I nedbørsfeltet forøvrig må hytter ikke bygges tettere enn 1 hytte pr. 10 da som gjennomsnitt for hver eiendom. Skoghusvær kan oppføres utenfor 100 m-beltet.

1. Alternativ B

Ny bebyggelse i vannverkets nedbørsfelt er forbudt. Dog tillates oppførelse av nødvendig skoghusvær i en minsteavstand på 100 m fra Glitrevann og 50 m fra tilløpene.

2. Eksisterende bebyggelse tillates bare benyttet i samme utstrekning som hittil. Oppførelse eller drift av overnattings- eller bevertningssteder er ikke tillatt.
3. Alle priveter i nedbørsfeltet utstyres med tette bøtter som skal stå på støpt underlag. Ved tømning skal innholdet enten føres ut av nedbørsfeltet, eller graves ned på sted som er godkjent av helserådet. Samme regler gjøres gjeldende for kjemikaliepriveter.
4. Bruk av gjødsel som stammer fra mennesker er forbudt i nedbørsfeltet.
5. Bruk av vannklosetter er forbudt i hele nedbørsfeltet.
6. Spillvannsavløp direkte til Glitrevatn eller tilløpene er forbudt. Spillvann skal ledes ut i grunnen på betryggende måte i en minsteavstand på 80 meter fra Glitrevann og 40 meter fra tilløpene. Ordningen må godkjennes av helserådet.
7. Fiske og båttrafikk på Glitrevatn er bare tillatt for de som eier grunn ned til vannet etter eiendomsgrensene pr. 1. januar 1969.
8. Trafikk på Glitrevatn med motordrevne kjøretøyer om vinteren eller med motordrevne farkoster om sommeren er ikke tillatt utover det som er nødvendig for skogsdriften.
9. Organisert bading og organisert leirslagning i nedbørsfeltet er forbudt. All bading er forbudt i 100 meter radius fra inntaket.
10. Teltslagning er forbudt nærmere Glitrevatn enn 100 meter.
11. Stevner av enhver art som medfører en større publikumansamling innen nedbørsfeltet er forbudt. (I tvilstilfelle kan helserådet treffe avgjørelse).
12. Veier som fører fram til Glitrevatn eller som ligger i nedbør-

feltet må ikke kunne trafikkeres av almenheten.

Med hensyn til pkt. 7 for så vidt gjelder stangfiske og pkt. 10 skal bemerkes at klausuleringen først iverksettes fra det tidspunkt Helsedirektoratet bestemmer. Drammen helseråd er ansvarlig for tilsynet med at klausuleringsbestemmelsene overholdes.

- III I medhold av Vassdragslovens §130 punkt 4 tillates det å stevne til ekspropriasjonsskjønn på den måte som er foreskrevet for visse almenningssaker i lov av 9. juli 1851. De rettighets-
havere som er kjent forutsettes stevnet på vanlig måte. Man skal forøvrig gjøre oppmerksom på at skjønn må være begjært innen ett år, ellers faller tillatelsen bort, jfr. Vassdragslovens §130 pkt. 1.

Det gjøres videre oppmerksom på at vannverket trenger Sosialdepartementets godkjennelse i henhold til §5 i "forskrifter for drikkevann m.m. og vannforsyningsanlegg". Planene bes sendt inn til godkjennelse så snart de er endelig utarbeidet.

Med hensyn til pkt. 1 i servituttene skal bemerkes at Industri-
departementet i samråd med Helsedirektoratet vil ta endelig standpunkt til hvilken formulering som skal gjelde, så snart skjønn, eventuelt overskjønn, er avhjemlet. Det er en forutsetning fra departementets side at det ikke i tiden fram til skjønnsbehandlingen er avsluttet, skjer noen utbygging av det aktuelle området utover den som følger av områdets nåværende utnyttelse.

En gjenpart av denne tillatelsen ligger ved.

Etter fullmakt

Jens V.L. Poulsen

Leif Sæther

Vedlegg 2

Sak 1844. GLITREVANNSREGULERINGEN

Forslag til manøvreringsreglement
for Glitrevannsdammen

Datert 7. jan. 1970

1844 - GLITREVANNS MANØVRERINGSREGLEMENT

Vårt firma har tidligere, i forbindelse med Lierelvens Grunneierlags oppdrag til oss, avgitt uttalelse datert 21.11.1962 vedr. manøvreringsreglement for Glitrevannsdammen.

Ved nærværende skjønn er saksgrunnlaget noe endret ved bl.a. overføringen av Rotua, og det kan derfor være riktig å ta hele problemet opp fra grunnen.

Som konstruktivt grunnlag har vi mottatt ny tegn. 1000.01-05 fra Sivilingeniør R. Brusletto A/S - Østlandskonsult A/S.

Dammen er utstyrt med fast overløp med 10 stk. 1,60 m brede åpninger med terskel 1,10 m under damkronen. Dessuten er der en kjerratåpning med bredde 1,13 m som skal inngå i det faste overløp.

Det forutsettes at disse åpninger ikke tillates stengt med bjelker eller på annen måte.

Dammen har 3 dypløpsluker med fri høyde i innløpsåpningen på 1,80 m. De to sideluker har bredde lysåpning på 0,9 m, den midterste 1,00 m.

Avrenningsforholdene nedenfor dammen er så gode at der ikke regnes noen oppstuvning av undervannet ved beregning av lukes kapasitet.

Overløpenes avledningsevne

Hver enkelt av de 11 overløpsåpninger vil ha en sidekontraksjon som kan antas til ca. 0,10 m på hver kant.

Den effektive totale bredde blir da ca.:

$$b_{\text{eff}} = 10 \times 1,60 + 1,13 - 22 \times 0,1 = \underline{15,0 \text{ m}}$$

og avledningsevnen

$$q = \frac{2}{3} \mu b_{\text{eff}} \sqrt{2g} h^{3/2}$$

der $\mu = 0,58$ ved $h = 1,00 \text{ m}$
og $\mu = 0,51$ " $h = 0,20 \text{ m}$ (bredkronet)

mellom disse verdier antas en rettlinjet økning

h	$=$	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	m
μ	$=$	0,51	0,53	0,55	0,57	0,58	
q	$=$	2,0	5,9	11,2	18,1	25,7	m ³ /s

Vannføringstabell og kurve er oppsatt i bilag A og B.

Dypløpenes avledningsevne

Dammen har 3 åpninger (bunnluker) som hver får sin sidekontraksjon, men denne varierer noe med hvorvidt nabolukene er stengt eller åpne.

Vi går ut fra at det her er hensiktsmessig å manøvrere midtluken (2) først slik at denne beregnes alene, mens luke 1 og luke 3 alltid forutsetter at luke 2 er åpen.

Vi antar at man for én luke kan sette $\mu = 0,55$, mens man for to eller tre luker bruker $\mu = 0,65$.

$$q = \mu b h \sqrt{2g(H - \mu h)}$$

der $b_1 = 1,00$ m $b_{1+2} = 1,90$ og $b_{1+2+3} = 2,80$

$h = 1,80$ m ved full åpning

$H = 6,81$ m ved HRV (vst. 0,00 m)

og $H = 7,81$ m " vst. 1,00 m

Luke 2 alene:

Ved vst. 0,00 m $q = 10,6$ m³/s

" 1,00 m $q = 11,5$ "

Luke 1: (forutsatt luke 2 åpen)

Ved vst. 0,00 m $q = 11,2$ m³/s

" 1,00 m $q = 12,2$ "

Luke 3: som luke 2

Sum alle luker åpne:

Ved vst. 0,00 m $q_{\text{tot}} = 33,0$ m³/s

" 1,00 m $q_{\text{tot}} = 35,9$ m³/s

Se kurver bilag B.

Feltets hydrologi

Nedbørfeltet til Glitrevann naturlig er $F_1 = 44,5 \text{ km}^2$. Til dette overføres nå Rotua med felt $F_2 = 16,9 \text{ km}^2$, sum felt $61,4 \text{ km}^2$.

Begge felt er vesentlig skogkledd, kupert i høyde omkring 500-600 m.o.h. i utkantene og 375 m.o.h. ved dammen.

Feltet er vurdert til et normalt spesifikt avløp på 19 l/s km^2 .

Et felt av denne art må være forberedt på regnvørsflommer, i noen grad kombinert med snøsmelting, som vil gi de største avløpsintensiteter. Vanlig snøsmelting om våren vil neppe forårsake de største intensiteter, men gir årvisst det vesentlige flomvolum.

Ut fra nedbørstatistikk i nærliggende distrikter, må ventes maksimal nedbørhøyde i én måned på 250-300 mm og på ett døgn opptil 60-70 mm.

Ett-døgns nedbør på 60 mm vil sannsynligvis ha et midlere gjentagelsesintervall noe over 30 år.

Det naturlige felts ytre kanter har en avstand til Glitrevann på ca. 4 km og vil ha en konsentrasjonstid for tilsig til magasine på ca. 1-2 timer. Det overførte felts konsentrasjonstid er ventelig noe lenger, vel 2 timer.

Under slike forhold må en vente en maksimal tilsigsintensitet opp mot $45 \text{ m}^3/\text{s}$ fra det naturlige felt og under antagelse av at overføringstunnelen har tilstrekkelig kapasitet, vil denne overføre ca. $15 \text{ m}^3/\text{s}$.

Det avgjørende for flomavløpet vil imidlertid være tilsigsvolumet i de forutgående 4-5 dager og en må her for å vurdere en gunstig flommanøvrering anta et visst tilsigsforløp og foreta en (selv)-reguleringsberegning.

Typisk regnflom (nov. 1961)

Som "modell" for en typisk sterk regnflom om høsten (50 års flom anslagsvis) har vi benyttet tilsigstallene slik de fremsto ved Verkenselva i Asker (27 km^2) i november 1961 etter vedvarende nedbør i dagene 8. - 13. november og med forutgående nedbørrik oktober (200 mm).

De observerte tilsigstall er her oppjustert til det naturlige felt for Glitrevann ($44,5 \text{ km}^2$) og til Rotua ($16,9 \text{ km}^2$).

En nærmere redegjørelse vedr. nedbørobservasjoner som belyser riktigheten av at man kan transponere disse nedbørforhold, vedligger som eget bilag C - 1,2 og 3.

Vi får følgende tilsig i mill. m³ og i m³/s :

Nov. 1961 Dag	Glitrevann		Rotua	
	mill.m ³	m ³ /s	mill.m ³	m ³ /s
8	0,40	4,6	0,15	1,7
9	1,10	12,8	0,40	4,6
10	1,60	18,5	0,60	7,0
11	2,20	25,5	0,80	9,3
12	1,00	11,6	0,40	4,6
13	0,50	5,8	0,20	2,3
14	0,40	4,6	0,15	1,7
	7,20		2,70	

Dette tilsvarer at der er avrent på 7 døgn til Glitrevann en netto nedbørhøyde på 162 mm (Ved Verkensvann ble observert tilsig på 7 døgn på 5,19 mill. m³ eller tilsv. vel 190 mm nedbørhøyde).

Maksimaldøgnetts tilsigsvolum tilsvarer i døgnmiddel 25,5 m³/s som ansees rimelig sammenholdt med et påregnelig maksimum på 45-50 m³/s. Vi har antatt et jevnt synkende tilsig i dagene 15., 16. og 17.11. også for å få med en sannsynlig avslutning av flombølgen for å vise i de forskjellige alternativer hvor snart vannstanden synker tilbake til HRV (overløpskronen).

Magasinet

Glitrevanns magasin er iflg. Bruslettos tegn. 1000.o2-4 på 23,5 mill. m³ mellom HRV og LRV, en reguleringshøyde på 6,9 m. Dette gir en sjøflate i middel på 3,41 km². Vi antar ved HRV en flate på 3,50 km²

Alternativ 1

Glitrevann forutsettes fullt til HRV pr. 8.11. ved det sterke regnværs begynnelse. Rotua forutsettes ikke overført.

Alt avløp går over de faste overløp.

Dato	Tilsig mill. m ³	Vst. m	Avløp mill.m ³	Mag.endr. mill. m ³	Vst.endr. m
		0,00	(0,00)		
8	0,40	0,10	0,04 (0,07)	0,36	0,10
9	1,10	0,34	0,24 (0,40)	0,85	0,24
10	1,60	0,60	0,68 (0,96)	0,91	0,26
11	2,20	<u>0,85</u>	1,34 (1,72)	0,86	0,25
12	1,00	0,71	1,49 (1,25)	- 0,50	- 0,14
13	0,50	0,55	1,05 (0,85)	- 0,55	- 0,16
14	0,40	0,45	0,74 (0,62)	- 0,35	- 0,10
15	0,30	0,38	0,55 (0,48)	- 0,25	- 0,07
16	0,20	0,32	0,42 (0,36)	- 0,22	- 0,06
17	0,15	0,27	0,31 (0,27)	- 0,16	- 0,05

Vi ser at vannstanden stiger til 0,85 m og avløpet fra dammen stiger til maksimalverdi 1,72 mill. m³/dgn. eller 19,9 m³/s.

Tillegger vi her Rotuas maksimalavløp den 11. nov. (tilsig = avløp i dette felt) som tilsvarer 9,3 m³/s, blir samlet avløp fra de to felt (tils. 61,4 km²) 29,2 m³/s.

Alternativ 2

Dette alternativ starter ut som alt. 1, men vi forutsetter at Rotua nå overføres til Glitrevann.

Alt avløp går over de faste overløp.

Vi får da det samlede tilsig fra begge felt til Glitrevann.

Dato	Tilsig mill.m ³	Vst. m	Avløp mill.m ³	Mag.endr. mill.m ³	Vst.endr. m
		0,00	(0,00)		
8	0,55	0,14	0,05 (0,10)	0,50	0,14
9	1,50	0,46	0,37 (0,64)	1,13	0,32
10	2,20	0,78	1,06 (1,49)	1,14	0,32
11	3,00	1,08	1,97 (2,46)	1,03	0,30
12	1,40	0,87	2,13 (1,79)	- 0,73	- 0,21
13	0,70	0,65	1,45 (1,10)	- 0,75	- 0,22
14	0,55	0,54	0,96 (0,83)	- 0,41	- 0,11
15	0,40	0,46	0,73 (0,64)	- 0,33	- 0,09
16	0,25	0,38	0,55 (0,47)	- 0,30	- 0,08
17	0,20	0,32	0,41 0,35	- 0,21	- 0,06

Vi ser at vannstanden stiger praktisk talt til damkronen, vst. 1,08 m og avløpet fra dammen når opp i 28,6 m³/s (2,46 mill.m³/dgn.)

Det vil si at under ellers lik manøvrering av dammen vil overføringen av Rotua-feltet føre til høyere vannstand i Glitrevann.

Dersom dypløpslukene ikke blir manøvrert i henhold til et forhåndsbestemt reglement, vil det økede tilsig til Glitrevann øke risikoen for overtopping av dammen.

Vi finner det derfor nødvendig at man som følge av overføringen må fastlegge et slikt reglement.

Tallmessig finner vi maksimalavløpene ved Alt. 1 og Alt. 2 å være helt ubetydelig forskjellige.

Alternativ 3

Vi har her antatt Rotua overført samt at damlukene manøvreres etter et skjema som følger:

Vst. 0,00 - 0,10	Luker stengt
" 0,11 - 0,50	Luke 2 åpen (midtre luke)
" 0,51 - 0,70	Luker stengt
" 0,71 - 0,80	Luke 2 åpen
" 0,81 - 0,90	Luke 1 + 2 åpen
" 0,91 -	Luke 1 + 2 + 3 åpen

Det forutsettes at det er den momentane vannstand ved rutinemessig avlesning (kl. 0800) som bestemmer lukesettingen for de kommende 24 timer.

Alternativ 3.

Rotua overført.
Luker manøvreres ved intervallets begynnelse.

Dato	Tilsig mill.m ³	Vst. m	Overløps- avløp mill.m ³	Luke åpen nr.	Luke avløp mill.m ³	Samlet avløp mill.m ³	Mag. endring mill.m ³	Vst. endring m
8	0,55	0,00	0,00	0	0,00	0,00	+ 0,50	+ 0,14
9	1,50	0,14	(0,10)	2	(0,92)	(1,02)	+ 0,40	+ 0,12
10	2,20	0,26	(0,25)	2	(0,94)	(1,19)	+ 0,80	+ 0,22
11	3,00	0,48	(0,67)	2	(0,95)	(1,62)	+ 0,99	+ 0,28
12	1,40	0,76	(1,43)	2	(0,97)	(2,40)	- 0,71	- 0,20
13	0,70	0,56	(0,87)	0	(0,96/0)	(1,83/0,87)	- 0,13	- 0,04
14	0,55	0,52	(0,78)	0	0	(0,78)	- 0,16	- 0,05
15	0,40	0,47	(0,67)	2	(0/0,95)	(0,67/1,62)	- 0,95	- 0,28
16	0,25	0,19	(0,16)	2	(0,92)	(1,08)	- 0,75	- 0,21
17	0,20	- 0,02	(0,00)	0	(0,92)	(0,92)		

Hvor avløpet er oppført med to verdier med / - strek mellom betyr det avløp før/etter manøvrering av luke. Dette a.h.t. beregning midlere avløp i intervallet. Tall i parentes er momentanverdier ved den angitte vst.

Kommentar vedr. alt. 3

Vi ser at vannstanden i magasinet stiger til 0,76 m den 12.11. om morgenen etter meget sterk nedbør den 10. og 11.11.

Stigningen er så rask at vannstanden på ett døgn passerer det intervall hvori manøvreringen forutsetter stengning av luke 2 (midtluken).

I det nevnte eksempel får dette punkt i manøvreringsreglementet ingen betydning fordi flombølgen er såpass stor og fordelt over flere døgn.

For en rask og meget skarp flom vil imidlertid den nevnte stengningsbestemmelse kunne få en gunstig virkning for Lierelven, idet maksimalavløpet fra Glitrevann utsettes noe mens Lierelven forøvrig har sitt maksimale avløp.

I alternativ 3 ser vi at maksimalavløps-intensiteten fra de to felt tilsammen blir $27,8 \text{ m}^3/\text{s}$, og altså mindre enn dersom bare overløpene er i funksjon. Videre ser vi at dammen ikke når så høyt i vannstand, og den synker raskt tilbake til normal HRV.

Alternativ 4

Dersom NVE skulle finne at stengningsbestemmelsen i alt. 3 innebærer en risiko for at dammen skulle bli ugunstigere fylt fordi luke 2 har vært stengt en viss tid mens den kunne vært åpen, har vi også sett på et alternativ der lukene åpnes suksessivt med stigende vannstand.

Det er benyttet følgende skjema:

Vst.	0,00 - 0,10	Luker stengt
"	0,11 - 0,40	Luke 2 åpen
"	0,41 - 0,80	Luke 1 + 2 åpen
"	0,81 -	Luke 1 + 2 + 3 åpne

Alternativ 4 Rotua overført.
Luker manøvreres ved intervallets begynnelse.

Dato	Tilsig mill.m ³	Vst. m	Overløps- avløp mill.m ³	Luke åpen nr.	Luke avløp mill.m ³	Samlet avløp mill.m ³	Mag. endring mill.m ³	Vst. endring m
8	0,55	0,00	(0,00)	0	(0,00)	(0,00)	+ 0,50	+ 0,14
9	1,50	0,14	(0,10)	2	(0/0,92)	(0,10/1,02)	+ 0,40	+ 0,12
10	2,20	0,26	(0,25)	2	(0,94)	(1,19)	+ 0,80	+ 0,22
11	3,00	0,48	(0,67)	1+2	(0,95/1,96)	(1,62/2,63)	+ 0,26	+ 0,08
12	1,40	0,56	(0,87)	1+2	(1,98)	(2,85)	- 1,10	- 0,32
13	0,70	0,24	(0,23)	2	(1,92/0,94)	(2,15/1,17)	- 0,35	- 0,10
14	0,55	0,14	(0,11)	2	(0,92)	(1,03)	- 0,42	- 0,12
15	0,40	0,02	(~ 0)	0	(0,91/0)	(0,91/0)	+ 0,35	+ 0,10
16	0,25	0,12	(0,10)	2	(0/0,91)	(0,10/1,01)	- 0,70	- 0,20
17	0,20	- 0,08	0	0	(0,90/0)	(0,90/0)	+ 0,20	+ 0,06
		- 0,02	0		(0)	(0)		

Kommentar til alternativ 4

På grunn av den raskere lukeåpning i alt. 4 vil vannstanden i dammen ikke stige mer enn til 0,56 m, men maksimal avløpsintensitet går da opp i 2,74 mill. m³/dgn. eller 31,7 m³/s, som er høyere enn ved noen av de foregående alternativer.

På den annen side ser vi at dammen meget raskt faller tilbake til pendling omkring HRV. Under ennå forholdsvis store tilsig får vi da en situasjon med suksessiv åpning og lukking av luke 2 som da gir "annenhver dag" 10 m³/s og 0 m³/s fra dammen.

Vi finner at det lukereglement som er foreslått i alt. 3 synes å gi et rimelig sikkert reglement for Glitrevannsdammen.

Det vil gi gunstigere sum avløp fra de to felt enn noen av de andre alternativ og det ville falle inn gunstig for forholdene i Lierelven, idet vann holdes tilbake i Glitrevann, mens Lierelven forutsetningsvis har sin samtidige flom.

Forslag til manøvreringsreglement for Glitrevann
inklusive overføring av Rotua.

1. Glitrevann reguleres mellom vannstandene

HRV 0,00 m
og LRV - 9,50 m

målt fra de faste overløps kronehøyder, ref. tegn. 1000.01-05
Sivilingeniør R. Brusletto A/S - Østlandskonsult A/S

2. De 11 faste overløp skal ikke stenges på noe tidspunkt og holdes frie for is og andre faste gjenstander.
3. Dammens 3 dypløpsluker manøvreres etter følgende skjema:

Vst. 0,00 - 0,10	Luker stengt
" 0,11 - 0,50	Midtre luke (2) åpen
" 0,51 - 0,70	Luker stengt
" 0,71 - 0,80	Midtre luke (2) åpen
" 0,81 - 0,90	Luke 1 + 2 åpne
" 0,91 -	Alle luker åpne

Lukene forutsettes kun manøvrert 1 gang pr. dag ut fra den momentane vannstandsavlesning, og den derav bestemte lukestilling, holdes i de følgende 24 timer.

4. Dersom vannstanden fortsetter å stige over 0,91 m, skal overføringstunnellen for Rotua stenges a.h.t. dammens sikkerhet, og ikke åpnes igjen før vannstanden er under 0,70 m.
5. Det skal føres protokoll over vannstandsforholdene i dammen og over lukenes manøvrering og over uttak til vannverket.
6. Tapping fra Glitrevann skal forøvrig skje etter vannverkets behov, heri inkludert tilskuddsvann til Lierelven.

Lysaker, den 7. januar 1970

SIVILINGENIØR ERIK RØSTAD A/S



Glitrevann. Vannføringstabell fast overløp.

Vst.	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0,0	0	0,05	0,11	0,18	0,26	0,35	0,44	0,53	0,62	0,71
1	0,80	0,89	1,00	1,12	1,24	1,36	1,49	1,62	1,74	1,87
2	2,00	2,15	2,30	2,45	2,60	2,76	2,93	3,10	3,28	3,48
3	3,70	3,92	4,14	4,36	4,58	4,80	5,02	5,24	5,46	5,68
4	5,90	6,15	6,41	6,67	6,93	7,19	7,45	7,71	7,97	8,23
5	8,50	8,77	9,04	9,31	9,58	9,85	10,1	10,4	10,7	10,9
6	11,2	11,5	11,8	12,1	12,4	12,7	13,0	13,3	13,6	13,9
7	14,2	14,5	14,9	15,3	15,7	16,1	16,5	16,9	17,3	17,7
8	18,1	18,4	18,7	19,1	19,5	19,9	20,3	20,7	20,1	21,5
9	21,9	22,2	22,5	22,9	23,3	23,7	24,1	24,5	24,9	25,3
1,0	25,7	26,1	26,5	26,9	27,3	27,6	28,0	28,3	28,8	29,0
1,1	29,5									

Vannstand angitt i meter over overløpskrone.

Vannføring i m³/s.

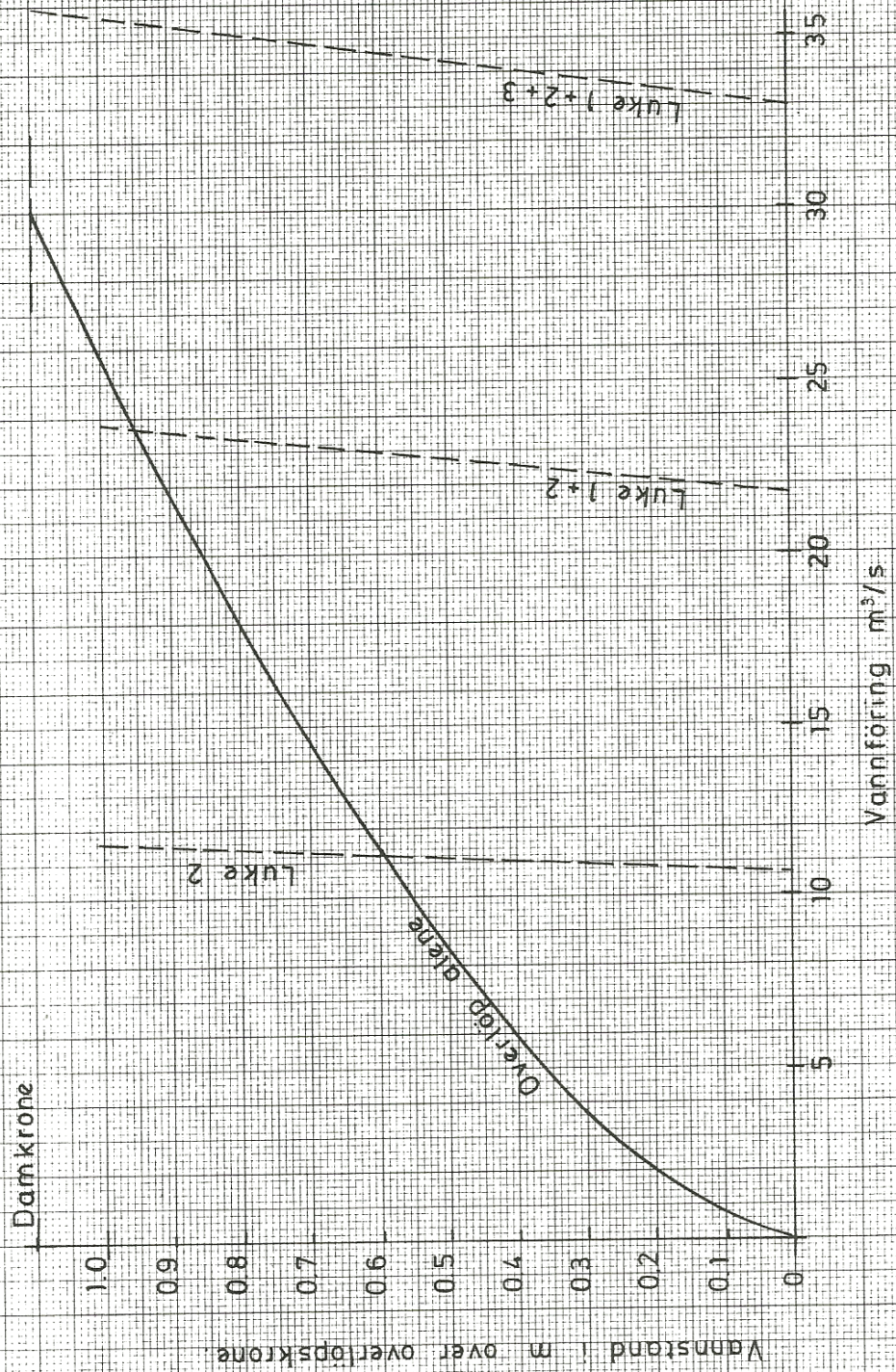
Vannstand 1,10 tilsvarer damkronen, ved høyere vannstand strømmet vannet over dammen i full bredde.

Bilag B

Tegn. 1844-5

Kff. C.E.R. 7.1.70

GLITREVANN VANNFÖRINGSKURVER.



Overlappende publiserte perioder viser årsnedbør.

	Dikemark $H_s = 180$	Asker $H_s = 154$	Hurum $H_s = 122$	Drammen $H_s = 61$	Blektjern $H_s = 209$
19141	818	823	701	825	941
15	1101	1024	1038	922	957
16	1308	1119	1196	1106	1322
17	821	748	1008	738	849
18	695	833	674	747	763
19	844	858	614	811	823
20	963	1006	871	895	977
21	560	525	463	494	464
22	840	796	788	888	888
23	921	846	940	938	973
Sum	8871	8578	8293	8364	8957
Gj.sn	887	858	829	836	896

Den høyeste observerte månedsnedbør for november i disse årene 1914 - 23 var:

Asker	161 mm i nov. 1916
Dikemark	236 " " " 1916
Hurum	167 " " " 1916
Drammen	168 " " " 1916
Blektjern	180 " " " 1916

Uavhengig av felles observasjonsrekke er den høyeste november-nedbør for stasjonene:

Asker	210 mm i nov. 1926
Dikemark	236 " " " 1916
Hurum	206 " " " 1926
Drammen	203 " " " 1926

Av ovenstående sammenligning av stasjoner kan vi slutte at nedbørforholdene i området er ganske homogene med en tendens til noe stigning med høyden ved stasjonen.

For Glitrevannsfeltet kan vi etter dette bedømme nedbøren til å ligge nærmest likt med Dikemark stasjonen, og iallfall ikke lavere enn ved Blektjern stasjonen.

Disse vurderinger er gjort for å bedømme om det er sannsynlig at de tilsig som ble beregnet for Verkenselven ved Dikemark i november 1961 også kan antas å ha opptrådt i Glitrevannsfeltet.

Nedbørobservasjoner i november 1961

Nov.	Asker	Hurum	Dikemark	Drammen	Blektjern
1			7		0,2
2	6,5	8,6		4,5	0,7
3	3,2	1,0			4,3
4	0,2	12,5			0,1
5					
6					
7					
8	13,4	11,2	20	13,5	7,1
9	12,5	13,2	35	9,3	20,8
10	31,2	23,5	}?	33,1	49,7
11	32,0	41,5		37,2	42,9
12	14,5	16,2	31	16,3	14,6
13	2,7	2,1	8	2,5	2,1
14					
15					
Sum	106,3	107,6	160	111,9	137,2
8.-13.11.					

De observerte avløpsvolum ved Verkensvannet i disse dager utgjorde mer enn volumet av nedbør på Dikemark stasjon, hvilket førte til at en måtte slutte at bruttonedbøren i de høyestliggende deler av feltet var større enn på målestasjonen.

Også dette forhold vil gjøre seg gjeldende ved Glitrevannsfeltet, om en bruker Blektjerns nedbørstall som grunnlag.

Vedlegg 3

Vannføring, Vannstand

http://www.nve.no/global/vann%20og%20vassdrag/databaser%20og%20kart/dataoversikt/vannstand_vannforing.html

6 NORDMARKVASSDRAGET/KYST GJERSJØELVA-BYGDØY

Serienummer	Stasjonsnavn	Parameter	Type målested	fra	til	Kommentar
6.10.0.1000.1	Gryta	Vannstand vannføring	Elv - kunstig profil	1967		Besøk 03.04.2006: Ikke isoppstuvning. Is fjernet fra profilet. Begge vannstander i Logosens endret 1 cm fra 0,24 til 0,23.

8 SANDVIKSELVA

Serienummer	Stasjonsnavn	Parameter	Type målested	fra	til	Kommentar
8.6.0.1000.1	Sæternbekken	Vannstand vannføring	Elv - kunstig profil	1971		NB! Data fra 2006 er ekstremt usikre pga drift i vannstandsregistreringen! Gammelt Vm nr 1880-0 Besøk 03.04.2006. Ikke isoppstuvning. Is fjernet fra profilet. Profilet islagt 06.01.2006 og 31.01.2006, isen fjernet, litt oppstuvning den 06.01.2006. Besøk 11.10.2005 vannstand skala 0,175. Vannstand Newlog endret fra 0,22 til 0,175.

11 LIERELVA/DRAMMENSFJORDEN ØST

Serienummer	Stasjonsnavn	Parameter	Type målested	fra	til	Kommentar
11.4.0.1000.1	Elgtjern	Vannstand vannføring	Innsjø	1975		Vanskelig tilkomlighet. Få flommålinger. Tre-delt profil: 0 m - 0.34 m velfungerende skarpkantet v-profil; 0.34 m - 0.58 m støpt bredkantet v-formet profil; > 0.6 m bred semi-naturlig profil. Dårlig oppløsning av vannføring - vannstand for vannstander h > 0.58 m. Kommunikasjon mellom kum og vann kan være noe treg. Skala plassert i tjernet rett oppstrøms overløp skal ikke benyttes pga fall i vannlinjen ned mot overløpet. Stasjonen er lite påvirket av isoppstuvning. Middelflom=0.68 SFT

12 DRAMMENSVASSDRAGET/DRAMMENSFJORDEN VEST

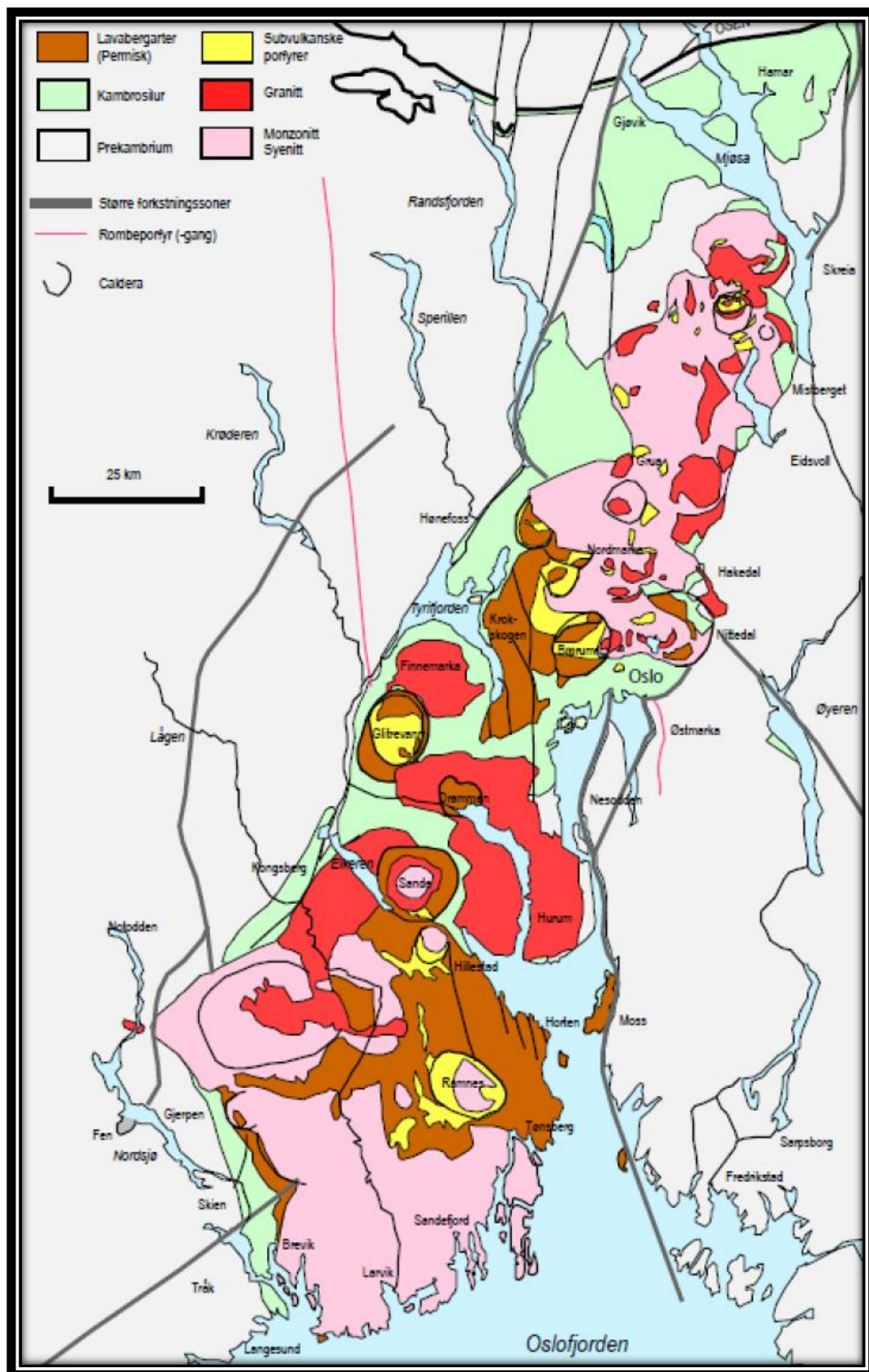
Serienummer	Stasjonsnavn	Parameter	Type målested	fra	til	Kommentar
12.193.0.1000.1	Fiskum	Vannstand vannføring	Elv - kunstig profil	1976		Flomevaluering: Maks obs findata pr 01.2007 er 1.72 m. Skala i kum 0-3 m. Tåler stor flom Middelflom på ca 1.28m, 5års 1.4m, 50års 1.63m (lokale høyder)

Vedlegg 4

Tabell 0-1 Årlig middelavrenning (l/s) til Elgtjern og gjennomsnitt (l/s) av sammenligningsstasjoner til Gryta, Sæternbekken og Fiskum

	Gryta	Sæternbekken	Fiskum	Gjennomsnitt	Elgtjern
1968	128.9				
1969	101.1				
1970	131.9				
1971	97.4				
1972	130.3	100.3			
1973	86.3	51.2			
1974	149.7	134.9			
1975	113.4	110.9			
1976	103.5	83.6			91.4
1977	137.6	105.8	978.1	407.2	182.3
1978	116.2	107.3	874.6	366.0	142.4
1979	131.2	108.5	864.5	368.1	151.4
1980	110.2	106.6	703.6	306.8	111.5
1981	124.4	73	576.9	258.1	102
1982	169.5	112.6	819.7	367.3	147.4
1983	120.2	104.1	956.3	393.5	145.1
1984	155	138.8	992.3	428.7	157.3
1985	174.9	123.5	738.8	345.7	149.8
1986	155	103.1	710.1	322.7	136.8
1987	177.1		1041.8		184.7
1988	191.6		1397.2		223.3
1989	131.3	76.7	478.1	228.7	104
1990	122.5	80.5	551.9	251.6	105.3
1991	108.4	76.9	577.4	254.2	102.7
1992	123.4	99.6	510.4	244.5	81.1
1993	126.9	83.3	595.4	268.5	100.1
1994	145.8	111.5	1033.2	430.2	147.1
1995	147.8	97.1	896.8	380.6	
1996	70.1	86.5	542.1	232.9	104.6
1997	60.3	93.6	579	244.3	147.8
1998	166.6	126.9	842.1	378.5	165.5
1999	185.2	171.7	919.4	425.4	129.2
2000	248.2	217.8	1459.6	641.9	233.6
2001	136.3	119.7	847.1	367.7	161.6
2002	139.1	91.9	543.5	258.2	115.8
2003	123.6	93.9	767	328.2	150.2
2004	119.1	105.2	767.5	330.6	139.8
2005	107.2	100.2	406.3	204.6	91.6
2006	183.5	147.5	1030.9	454.0	179.4
2007	138.4	152	885	391.8	153
2008	184	178.5	984	448.8	
2009	155.9	130.4	922	448.8	
2010	121.3	103.9	726.1	317.1	
2011	172.5	154	1040.8	455.8	
2012	154.4	144.4	906.2	401.7	

Vedlegg 5



Figur 0-1 Oslo paleorift (Nilsen, 2001, etter Ihlen & Vokes (1978), Pedersen, 1985 og Nordgulen (1995))

